Beiträge zur Wärmetechnik der Koppersschen Koksöfen.

Von der

Kgl. Technischen Hochschule zu Breslau

zur

Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs

genehmigte

DISSERTATION.

Vorgelegt von

Dipl.-Ing. Alfons Wilczek aus Koenigsdorf.

Referent: Prof. Simmersbach

Korreferent: Dozent Dr. phil. Hollmann.

Tag der mündlichen Prüfung: 26. Juli 1913.

1914.

Verlag der Berg- und Hüttenmännischen Zeitschrift „Glückauf".

55391

Beiträge zur Wärmetechnik der Koppersschen Koksöfen

Von der Kgl. Technischen Hochschule zu Breslau zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs genehmigte

DISSERTATION.

Vorgelegt von

Dipl.-Ing. Alfons Wilczek aus Koenigsdorf.

ACAD. LUGD. BAT. BIBL.

Referent:
Prof. Simmersbach.

Korreferent:
Dozent Dr. phil. Hollmann.

Tag der mündlichen Prüfung: 26. Juli 1913.

1914.

Verlag der Berg- und Hüttenmännischen Zeitschrift „Glückauf".

Auszugsweise erschienen in der Berg- und Hüttenmännischen Zeitschrift „Glückauf", Jahrgang 1914, Nr. 17 und 18.

Meinen Eltern!

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549813_0050

Geschichtliches.

Die Anfänge unserer heutigen Koksofentechnik sind zu der Zeit zu suchen, als man damit begann, die Steinkohle nach dem Vorbilde der Holzkohlendarstellung in Meilern zu verkoken. Die erste Kokserzeugung erfolgte im Jahre 1584 durch Herzog Julius von Braunschweig-Lüneburg[1]. 1778 fand die erste Koksdarstellung in Oberschlesien statt, etwa 10 Jahre später in Westfalen. Den Meilern folgten in den ersten Jahrzehnten des vorigen Jahrhunderts die oben offenen Schaumburger Öfen, die die älteste Art der Ofenverkokung darstellen. Diese wurden aber bald durch die Bienenkorböfen verdrängt, deren Verkokungsraum von allen Seiten geschlossen war. Während bei den bisher genannten Verkokungsapparaten die Beheizung im Verkokungsraum selbst durch Verbrennen der Destillationsgase und eines Teiles der Kohle erfolgte, finden wir bei dem 1854 eingeführten Appolt-Ofen die erste Anwendung der Beheizung durch Seitenkanäle, in denen die aus der Verkokungskammer eintretenden Gase verbrannt wurden (Flammofen). Diese Öfen hatten senkrechte Verkokungskammern. Die ungefähr um dieselbe Zeit eingeführten Öfen von Smet[2] waren dagegen mit wagerechten Verkokungs- und Heizkammern versehen. Im Jahre 1858 wurden die ersten Öfen mit wagerechten Verkokungskammern und senkrechten Heizkammern nach dem System François-Rexroth gebaut, die von Coppée weiter ausgebildet wurden. Dr. C. Otto, der geniale Bahnbrecher unseres neuzeitlichen Koksofenbaues, verbesserte dann in den Jahren 1872 bis 1880 den Coppée-Ofen vielfach und erbaute 1876 die ersten Öfen auf der Schachtanlage Helene und Amalie in Altenessen. Bedeutungsvoll für die Geschichte der Koksofenindustrie sind in der Folgezeit die Jahre 1882 und 1896. 1882 wurde der für die Entwicklung unserer heutigen Destillationskokerei so bahnbrechend gewordene Regenerativofen zum ersten Mal erbaut[3], 1896 erfand Dr. C. Otto seinen Unterbrennerofen[4]. In der gegenwärtigen Zeit hat der Koksofen den Kampf mit dem alten Retortenofen der Gasanstalten aufgenommen und scheint, wenigstens in den größern Gaswerken, den Sieg davonzutragen. Er weicht dort von seinen Vorgängern in der Kokerei nur dadurch ab, daß die Beheizung nicht durch das wertvolle Destillationsgas, sondern durch ein heizärmeres, billigeres Generatorgas erfolgt.

[1] vgl. O. Simmersbach: Die Anfänge der Koksfabrikation, Glückauf 1905, S. 875 ff.
[2] vgl. F. Simmersbach: Die Koksfabrikation im Oberbergamtsbezirk Dortmund, 1887, S. 30.
[3] vgl. F. Simmersbach: Fortschritte der Koksfabrikation im Oberbergamtsbezirk Dortmund, 1896, S. 10 ff. Die Erfindung stammt von Th. von Bauer, der das Patent auf den Namen seines Schwagers Hoffmann nehmen ließ, weshalb der Ofen Otto-Hoffmannofen genannt wurde.
[4] vgl. F. Simmersbach: Neue Ergebnisse der deutschen Koksindustrie, Stahl u. Eisen 1898, S. 641 ff.

Die Kokskohle.

Es ist bekannt, daß sich nicht jede Kohle zum Verkoken eignet[1]. Als gute Kokskohle kann man nach den bisherigen Erfahrungen im allgemeinen kurz diejenige bezeichnen, die einen Gasgehalt von 20–30% hat. Eine solche Kohle ist meistens auch gut backfähig; ein höherer Gasgehalt gibt leicht einen splittrigen Koks. In den ersten Stunden der Garungszeit findet bei höherm Gasgehalt eine so lebhafte Gasentwicklung statt, daß die Kohleteilchen auseinandergesprengt werden und nicht mehr genügend zusammenbacken können. Um dies zu vermeiden, gibt es zwei Mittel. Entweder muß die Kohle mit einem höhern Wassergehalt (etwa 15–20%) eingesetzt werden, wodurch einerseits eine allzu heftige Gasentwicklung verhindert wird, anderseits die Kohleteilchen länger beisammen gehalten werden und so zusammenbacken können, oder sie muß zur Erzielung einer dichten Lagerung gestampft werden[2]. Steht jedoch Magerkohle zur Verfügung, so ist es am vorteilhaftesten, die Fettkohle mit dieser zu mischen. Oberschlesische Kohle, die durchschnittlich einen Gasgehalt von 27–32% hat, wird daher fast ausnahmslos gestampft, während dies bei Ruhrkohle mit ihrem Gasgehalt von 20–25% nicht erforderlich ist. Ältere Kohlen mit 15% und weniger Gasgehalt sind überhaupt schwer verkokungsfähig, da sie selten noch backen. Ihnen mangelt es an den zur Backung erforderlichen Teerbestandteilen, die mit steigendem Alter der Kohle abnehmen.

Der Wassergehalt einer Kokskohle soll im allgemeinen nicht mehr als 10–12% betragen; denn bei einem unnötig hohen Wassergehalt entstehen durch das Verdampfen des Wassers große Wärmeverluste. Auch ist es zur Schonung der feuerfesten Baustoffe geboten, die Kohle mit einem möglichst niedrigen Wassergehalt in den Ofen gelangen zu lassen, da die in dem Kohlenwaschwasser enthaltenen Natriumsalze zerstörend auf die Ofenwandung einwirken. Hierbei gehen dann folgende Reaktionen vor sich:

$$NaCl + H_2O = NaOH + HCl$$
$$2\ NaOH + SiO_2 = Na_2SiO_3 + H_2O.$$

[1] vgl. O. Simmersbach: Grundlagen der Kokschemie, 1914, Kap. II.
[2] vgl. O. Simmersbach: Über die Verkokung magerer Steinkohlen unter Zuhülfenahme mechanischer Stampfvorrichtungen, Stahl u. Eisen 1898, S. 1078 ff.

Na_2SiO_3 ist leicht schmelzbar und löst immer mehr von den Steinen ab, bis sie schließlich ganz zerstört werden.

Wichtig ist es auch, daß die Kohle eine möglichst gleiche Korngröße besitzt, u. zw. beträgt die Korngröße bei oberschlesischer Kohle zweckmäßig 1–8, bei westfälischer Kohle 1–6 mm. Der Aschengehalt soll bei oberschlesischer Kohle höchstens 11–12, bei westfälischer Kohle 8–9%, der Schwefelgehalt bei oberschlesischer Kohle 0,6–1, bei westfälischer Kohle bis zu 1,1% betragen.

Die zur Verkokung erforderlichen Wärmemengen werden um so größer, je jünger die Kohle ist, d. h. also, je weniger die natürliche Entgasung vorgeschritten ist. Auch auf eine der Kohlensorte entsprechende Temperatur muß geachtet werden, die man leicht durch praktische Versuche feststellen kann. Verkokt man z. B. sonst gute Kokskohle zu heiß, so erhält man einen kleinstückigen Koks. Ruhrkohle erfordert im allgemeinen einen kältern Ofengang als oberschlesische oder Saarkohle. Bei jener liegen die anzuwendenden Temperaturen zwischen 900 und 1100, bei dieser zwischen 1100 und 1300°. Die sog. magern Kokskohlen erfordern besonders heiße Ofenwände, um die Entwicklung der Teerbildner zu konzentrieren und dadurch die Nahtbildung zu fördern.

Die Heizstoffe der Koksöfen.

Für Koksöfen kommen ausschließlich gasförmige Heizstoffe in Betracht; feste Brennstoffe in Form von Kohle oder Koks finden nur beim Anheizen der Öfen

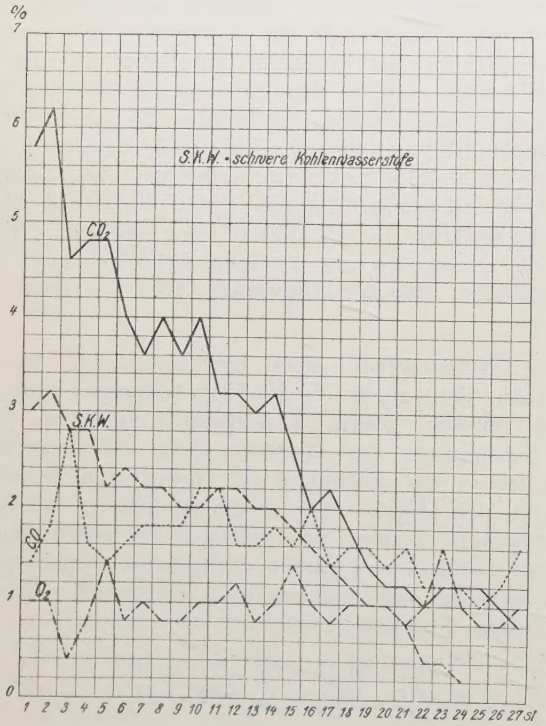

Abb. 1. Zusammensetzung des Destillationsgases während der einzelnen Stunden der Garung (Gehalt an CO_2, CO, O_2 und schweren Kohlenwasserstoffen).

Verwendung. Bis auf ganz geringe Ausnahmen wird bei den Öfen mit Nebenproduktengewinnung, den sog. Teeröfen, das bei der Verkokung gewonnene und von Teer, Ammoniak und Benzol befreite Destillationsgas zur Beheizung benutzt. Bei den Öfen ohne Nebenproduktengewinnung, den sog. Flammöfen, bleiben außerdem noch Teer und Benzol als brennbare Bestandteile im Gase.

Die Beschaffenheit des zur Beheizung verwendeten Gases wechselt sehr. Abgesehen von der chemischen Zusammensetzung der Kohle, durch die ja die Beschaffenheit des Gases überhaupt bedingt wird, hängt diese noch von den verschiedenen Abschnitten der Garungszeit, in denen sich die Öfen befinden, von der Dichtigkeit der Ofenwände, der Ofentüren und der Absaugleitung sowie von dem Grade der Abkühlung ab, die das Gas erleidet, bevor es wieder unter die Öfen tritt.

Das bei der Verkokung erzeugte Destillationsgas ist, wie aus Zahlentafel 1 und den Abb. 1 – 3 hervorgeht, in den einzelnen Abschnitten der Garungszeit von verschiedener Beschaffenheit. Der Kohlensäuregehalt nimmt ebenso wie der Gehalt an Kohlenoxyd gegen Ende

Zahlentafel 1.

Zusammensetzung des Destillationsgases in den einzelnen Stunden der Garungszeit.

st	CO_2 %	Schwere Kohlenwasserstoffe %	O_2 %	CO %	H_2 %	CH_4 %	N_2 %	Auf 1 cbm berechneter unterer Heizwert WE
1	5,8	3,0	1,0	1,4	51,3	29,6	7,9	4 503
2	6,2	3,2	1,0	1,8	50,9	30,5	6,4	4 610
3	4,6	2,8	0,4	2,8	51,0	30,1	8,3	4 553
4	4,8	2,8	0,8	1,6	51,8	29,9	8,3	4 520
5	4,8	2,2	1,4	1,4	51,9	29,2	9,1	4 315
6	4,0	2,4	0,8	1,6	52,6	28,7	9,9	4 344
7	3,6	2,2	1,0	1,8	53,8	27,6	10,0	4 219
8	4,0	2,2	0,8	1,8	51,8	28,2	11,2	4 222
9	3,6	2,0	0,8	1,8	53,5	27,8	10,5	4 198
10	4,0	2,0	1,0	2,2	53,1	26,1	11,6	4 055
11	3,2	2,2	1,0	2,2	53,3	26,4	11,7	4 145
12	3,2	2,2	1,2	1,6	53,8	25,8	12,2	4 079
13	3,0	2,0	0,8	1,6	54,3	26,1	12,2	4 067
14	3,2	2,0	1,0	1,8	53,4	26,3	12,3	4 072
15	2,6	1,8	1,4	1,6	54,8	25,5	12,3	4 005
16	2,0	1,6	1,0	2,0	55,2	26,0	12,2	4 023
17	2,2	1,4	0,8	1,4	57,3	25,1	11,8	3 935
18	1,8	1,2	1,0	1,6	57,1	25,7	11,6	3 960
19	1,4	1,0	1,0	1,6	59,0	24,6	11,4	3 867
20	1,2	1,0	1,0	1,4	61,8	23,3	10,4	3 804
21	1,2	0,8	0,8	1,6	64,5	21,6	9,5	3 705
22	1,0	0,4	1,0	1,2	66,8	19,3	10,3	3 480
23	1,2	0,4	1,6	1,2	65,4	17,8	12,4	3 316
24	1,2	0,2	1,0	1,2	68,6	15,4	12,4	3 254
25	1,2	—	0,8	1,0	70,7	13,4	12,9	2 992
26	1,0	—	0,8	1,2	72,2	11,0	13,8	2 833
27	0,8	—	1,0	1,6	70,4	9,0	17,2	2 628

der Destillation ab. Ferner wird der Gehalt an schweren Kohlenwasserstoffen und Methan immer geringer, und das Gas wird wasserstoffreicher; der Heizwert verringert sich ganz bedeutend. Bei Kokereien, die Leuchtgas abgeben, nimmt man daher während der verschiedenen Destillationszeiten eine Scheidung in Reich- und Armgas vor. Zu diesem Zweck sind zwei Vorlagen an-

gebracht, so daß das Steigrohr durch einen Wechselkrümmer in den ersten Stunden der Garungszeit mit der Leuchtgasvorlage, in den letzten Stunden mit der Betriebsgasvorlage verbunden werden kann. Da bei den Öfen einer Batterie die Garungszeit nicht genau eingehalten werden kann und die Öfen auch nicht immer gleichmäßig gedrückt werden können, wird die Zusammensetzung des erzeugten Destillationsgases dauernden Schwankungen unterworfen sein.

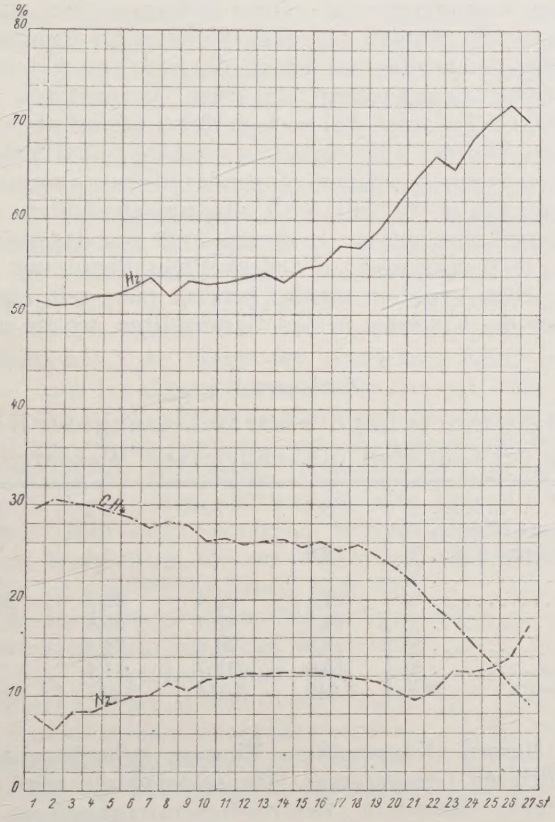

Abb. 2. Zusammensetzung des Destillationsgases während der einzelnen Stunden der Garung (Gehalt an H_2, CH_4 und N_2).

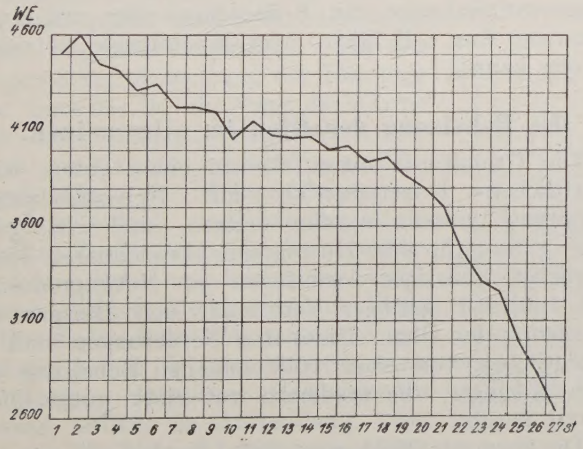

Abb. 3. Heizwert des Destillationsgases während der einzelnen Stunden der Garung.

Um eine Verschlechterung des Gases zu vermeiden, müssen ferner die Ofenwände und Ofentüren möglichst dicht gehalten werden. Bei undichten Wänden tritt leicht eine Vermischung des Destillationsgases mit dem Verbrennungsgas ein. Da dieses meist noch freien Sauerstoff enthält, erfolgt eine teilweise Verbrennung und somit eine Verschlechterung des Destillationsgases. Auf ein sorgfältiges Verfugen der Ofenwand muß daher der allergrößte Wert gelegt werden. Man soll überhaupt Fugen tunlichst vermeiden und die senkrechten Fugen der Ofenwand so legen, daß sie mit den Wänden der senkrechten Züge zusammenfallen. Um das Eintreten von Luft in die Ofenkammer zu verhindern, müssen aus demselben Grunde auch die Ofentüren möglichst dicht verschmiert werden. Ferner muß man auf die Dichtigkeit der Gasabsaugleitung achten. Dabei ist es vor allem wichtig, daß diese reichlich mit einem Gemisch von Dünnteer und Gaswasser bespült wird. Je besser nämlich die Spülung ist, desto weniger Dickteer setzt sich fest und desto weniger braucht die Leitung zu dessen Entfernung geöffnet zu werden. Durch die Reinigungsöffnungen, die meist einen Durchmesser von 70–100 mm haben, wird viel Luft mit in das Gas gesaugt und so dessen Zusammensetzung verschlechtert (vgl. Zahlentafel 2). Die Größe der zur Spülung der Gasabsaugleitung benötigten Dünnteermenge hängt von dem Gehalt des Rohgases an Dickteer ab. Deshalb dürfte es vorteilhaft sein, die Nebenproduktenanlage tunlichst nahe an die Öfen zu legen, um so die Saugleitung möglichst kurz zu gestalten. Außerdem wird man diese ein wenig geneigt anordnen, um dem Spülstrom etwas Gefälle zu geben.

Zahlentafel 2.

Veränderung des Gases beim Öffnen der Gasabsaugleitung zur Entfernung des Dickteers.

	CO_2	Schwere Kohlenwasserstoffe	O_2	CO	H_2	CH_4	N_2	Unterer Heizwert auf 1 cbm berechnet
	%	%	%	%	%	%	%	WE
Gaszusammensetzung								
vor dem Öffnen der Leitung	2,7	2,4	0,7	4,8	49,8	25,2	14,4	3 917
¼ st nach dem Öffnen der Leitung	3,1	2,0	1,6	4,9	45,2	24,7	18,3	3 809
vor dem Öffnen der Leitung	3,0	2,2	0,4	5,3	50,6	29,9	11,7	4 057
¼ st nach dem Öffnen der Leitung	3,3	1,8	2,1	4,5	47,7	23,2	17,4	3 600

Auch der Grad der Abkühlung des Heizgases übt auf dessen Beschaffenheit einen großen Einfluß aus. Das beim indirekten Ammoniakgewinnungsverfahren aus den Waschern, beim direkten Verfahren aus dem Sättiger kommende Gas ist stets mit Wasserdampf gesättigt. Je mehr es also abgekühlt ist, desto weniger Wasserdampf enthält es, desto größer wird demnach der Heizwert (vgl. Zahlentafel 3).

Zahlentafel 3.

Einfluß der Schlußkühlung auf die Zusammensetzung des Gases.

Temperatur	Wasserdampf in 1 cbm gesättigten Gases		Abnahme des Heizwertes, bezogen auf 1 cbm gesättigten Gases von 15° (1 cbm = 4000 WE)	Zum Erhitzen des Wasserdampfes auf 1000° erforderliche Wärmemenge	Mehrbedarf an Gas zum Erhitzen des Wasserdampfes. auf gesättigtes Gas von 15° bezogen (1 cbm = 4000 WE)
°C	g	l	WE	WE	l
15	12,6	15,7	—	8	—
20	17,0	21,2	22	10	0,5
25	22,7	27,0	45	13	1,3
30	30,1	37,5	87	18	2,5
35	39,3	48,9	133	24	4,0
40	50,9	63,3	190	31	5,7
45	65,3	81,2	262	40	8,0
50	83,0	103,2	350	51	10,7
55	104,6	130,1	458	64	14,0
60	130,7	162,3	586	80	18,0

Daraus ergibt sich, daß das zur Beheizung gelangende Gas in seiner Zusammensetzung sehr schwanken muß, ein Umstand, der für die Gestaltung geregelter Betriebsverhältnisse von großer Bedeutung ist. Abb. 4 zeigt die Schwankungen des Heizwertes, wie sie während eines Tages auf einer Kokerei des Ruhrbezirks festgestellt worden sind.

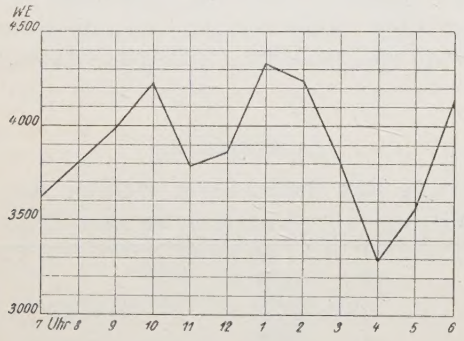

Abb. 4. Schwankungen im Heizwert des Koksofengases.

Das Koksofengas wird entweder mit kalter Luft (Abhitzeöfen) oder mit vorgewärmter Luft (Regenerativöfen) verbrannt. Die Vorwärmung erfolgt meist in Regeneratoren, die von den heißen Abhitzegasen durchzogen werden. Von dem Bau der Rekuperatoren, bei denen die Luft ununterbrochen in besondern, von den abziehenden Verbrennungsgasen dauernd umspülten Kanälen vorgewärmt wird, ist man jetzt ganz abgekommen, da die Wärmeausnutzung dabei schlecht war. Das Gas selbst erfährt nie eine Vorwärmung, da es sich bei hohen Temperaturen zersetzt.

Trotzdem es lange Zeit den Anschein hatte, als ob durch die Erfindung des Otto-Unterbrennerofens der 1882 auf den Markt gekommene Regenerativofen abgetan sei, mußte dieser doch wieder zur Geltung kommen, als sich in den letzten Jahren eine Reihe neuer Verwendungsgebiete für Koksofengas erschlossen. Die großen Fortschritte im Gasmaschinenbau, die Verwendung des Koksofengases zu Beleuchtungszwecken und zur Beheizung von Martinöfen waren es, die auf die Erzielung eines größtmöglichen Gasüberschusses drängten und so den Regenerativofen wieder aufleben ließen. So ist es gekommen, daß Abhitzeöfen nur noch unter bestimmten Verhältnissen gebaut werden und der Regenerativofen sich das Feld wieder erobert hat. Da in manchen Fällen mehr Koksofengas benötigt wurde, als der Überschuß bei den Regenerativöfen ergab, kam man auf den Gedanken, die Koksöfen statt mit wertvollem Koksofengas mit einem heizarmen Gas zu betreiben. So wurden auf einer Kokerei im Ruhrbezirk die Regenerativöfen mit einem Gemisch von Koksofen- und Generatorgas beheizt, das einen Heizwert von 3000 bis 3500 WE hatte. Bei noch größerm Bedarf an Koksofengas wurde auf derselben Anlage ölkarburiertes Wassergas zur Beheizung verwendet, dessen Zusammensetzung die in Zahlentafel 4 zusammengestellten Analysenergebnisse zeigen. In diesem Falle war das gesamte erzeugte Koksofengas zu anderweitiger Benutzung frei. Wie schon erwähnt wurde, beheizt man seit einigen Jahren die Koksöfen in den Gasanstalten, wo sie unter

Zahlentafel 4.

Zusammensetzung des zur Beheizung der Koksöfen verwendeten ölkarburierten Wassergases.

CO_2 ..... %	3,4	3,6	3,4	4,6
Schwere Kohlenwasserstoffe .. %	2,0	2,2	2,4	3,6
O_2 ..... %	—	—	—	—
CO ..... %	21,1	22,4	22,6	24,2
H_2 ..... %	44,7	45,1	45,8	41,2
CH_4 ..... %	13,8	14,0	14,4	18,8
N_2 ..... %	15,0	12,7	11,4	7,6
Heizwert ..... WE	3 249	3 344	3 431	3 905

dem Namen »Kammeröfen« Eingang gefunden haben, lediglich mit Generatorgas. Das Generatorgas wird dort in einer besondern Zentral-Generatorgasanlage gewonnen und ebenso wie die Verbrennungsluft vor Eintritt in die Heizkammer in Regeneratoren vorgewärmt. Neuerdings ist unter dem Namen »Verbundkoksofen« ein Ofen auf den Markt gekommen, der entweder als Regenerativkoksofen mit Koksofengas oder mit einem heizarmen Gas, z. B. Gicht- oder Generatorgas, betrieben werden kann.

Die Beheizung der Öfen im allgemeinen.

Die Grundforderungen, die an einen guten, wirtschaftlichen Kokereibetrieb mit Nebenproduktengewinnung gestellt werden müssen, sind Erzeugung eines guten, für den Hüttenmann brauchbaren Koks, möglichst günstiges Ausbringen an Nebenprodukten und tunlichst geringer Verbrauch von Heizgas zur Beheizung der Öfen. Diese drei Forderungen sind im wesentlichen von einer vollkommenen Beheizung der Öfen abhängig, die wiederum auf einer guten Ofenbauart beruht.

Die Form der Ofenkammer wird durch die Überlegung bestimmt, daß ihre Beheizung desto günstiger sein muß, je größer das Verhältnis der beheizten Fläche zum

Ofeninhalt ist. Bei den meisten neuzeitlichen Koksöfen hat die Kammer nach dem Vorbild von Coppée die Gestalt eines vierseitigen Prismas mit wagerecht liegender Längsachse.

Die Länge der Ofenkammer ist von der Möglichkeit eines sichern Ausdrückens des Kokskuchens sowie von der Standfestigkeit der Ofenwände abhängig. Die Höhe richtet sich, abgesehen von der gleichfalls zu berücksichtigenden Standfestigkeit der Kammerwände, vor allem nach der Möglichkeit einer gleichmäßigen Beheizung in senkrechter Richtung. Mit zunehmender Höhe der Ofenkammer steigt auch die Gefahr des Verziehens der Ofenwände, wodurch ein Ausdrücken des Kokskuchens oft auf Schwierigkeiten stößt und ferner auch Undichtigkeiten in der Trennungswand verursacht werden können. Was die Breite der Ofenkammer angeht, so wird der Kohlenkuchen von der Wärme im allgemeinen desto schneller durchdrungen, je schmaler die Kammer ist, d. h. also, die Garungszeit ist bei schmaler Kammer meist kürzer. In der Regel ist aber in erster Linie die Beschaffenheit der zu verkokenden Kohle für die Festsetzung der Breite maßgebend[1]. Je höher der Gasgehalt, desto breiter wählt man im allgemeinen die Ofenkammer. Bei stark blähender Kohle wird man überhaupt gut tun, den Ofen nicht zu voll zu besetzen, um ein Auseinanderdrücken der Wände zu vermeiden. Hingegen erhalten die sog. magern Kokskohlen zweckmäßig eine geringere Ofenbreite. Man sucht damit ein sicheres Vordringen der hohen Temperatur, die zur Verkokung einer derartigen Kohle erforderlich ist, auch nach der Mitte des Kohlenkuchens hin zu gewährleisten. Um den Koks besser ausdrücken zu können, läßt man die Kammer von der Maschinenseite nach der Koksseite hin etwas breiter werden, eine Maßnahme, die jedoch bei Anwendung des Stampfverfahrens nicht erforderlich ist.

Zwischen je zwei Ofenkammern ist meist eine, selten sind zwei Heizkammern angeordnet. Diese sind ihrerseits wiederum in einzelne Heizzüge geteilt, die fast immer senkrecht, manchmal auch wagerecht verlaufen. Bei der wagerechten Anordnung der Heizzüge hat man das Ziel im Auge, die Wärme der Gase tunlichst auszunutzen, indem man sie einen langen Weg zurücklegen läßt. Die Koksofenbauer befürchten jedoch, daß bei der wagerechten Zugführung die Gleichmäßigkeit der Beheizung leidet, und bevorzugen deshalb die senkrechten Züge. Über diesen liegt ein wagerecht geführter Kanal, in dem sich die Gase sammeln. Doppelte Heizkammern stehen selten in Anwendung. Sie bieten den Vorteil, daß jede Ofenkammer in der Beheizung vollständig unabhängig von den Nachbarkammern ist. Auch kann die Trennungswand zwischen Ofen- und Heizkammer etwas dünner ausgeführt werden, da die starken Mittelwände zwischen je zwei Kammern die obern Ofenteile nunmehr allein zu tragen haben. Die Wärme hat auch von ihrer Erzeugungsstelle bis zum Kohlenkuchen einen kürzern Weg zurückzulegen, so daß die sonst zur Verkokung nötige Wärmemenge auch entsprechend kleiner wird. Wenn man aber darauf achtet, daß die Füllzeiten zweier benachbarter Öfen genügend lange auseinander liegen, treten beim Besetzen kaum nennenswerte Temperaturschwankungen auf (vgl. die Abb. 5 und 6). Da doppelte Heizwände ferner einen größern Raum und eine doppelte Brennerzahl erfordern, sieht man von ihrer Ausführung fast immer ab.

Bei der Frage, von wievielen Seiten das vierseitige Kohlenprisma am vorteilhaftesten zu beheizen ist, muß man sich zunächst den Vorgang der Verkokung vor Augen führen. Dafür sind bis heute noch die vor etwa einem Jahrzehnt angestellten Versuche Hilgenstocks an Otto-Öfen maßgebend[1]. Aus ihnen kann man den Schluß ziehen, daß es zweckmäßig ist, das Kohlenprisma nur von zwei Seiten zu beheizen. Eine Beheizung der Sohle, wie sie früher allgemein üblich war, indem man die aus den senkrechten Zügen abfallenden Abhitzegase unter der Sohle entlang führte, ist daher falsch, was die langsplittrige und stengelige

[1] vgl. O. Simmersbach: Zur Frage der Steinkohlenverkokung, Stahl u. Eisen 1904, S. 446 ff.

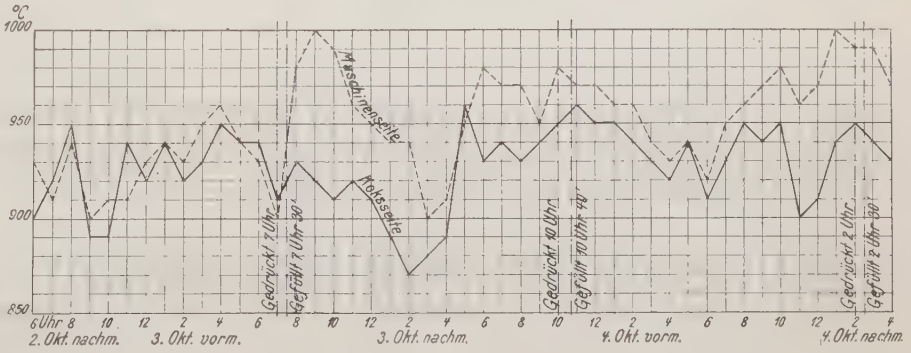

Abb. 5. Heizwand 64/65.

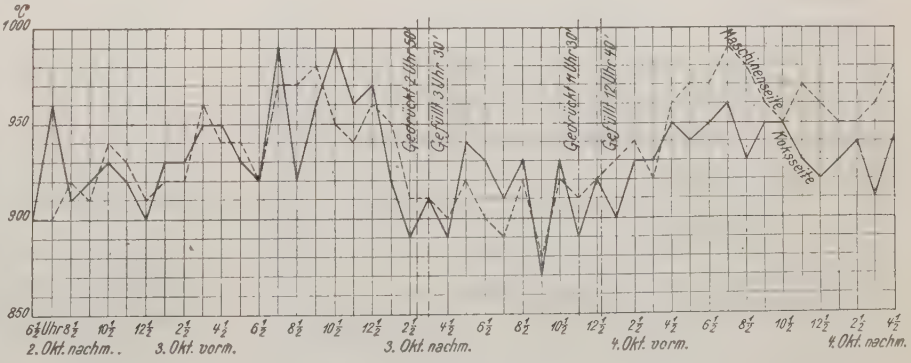

Abb. 6. Heizwand 66/67.

Abb. 5 und 6. Temperaturschwankungen in der Heizwand des Abhitzeofens von Koppers.

[1] vgl. O. Simmersbach: Grundlagen der Kokschemie, 1914.

Struktur des Koks deutlich beweist. Unmittelbar an der Sohle ist kaum eine Koksnaht vorhanden, und weiter oben zeigen sich an beiden Rändern der Naht nach aufwärts gerichtete Spitzen und Kanten, die beim Verladen abbrechen.

Vor allem ist darauf zu sehen, daß die Beheizung des Kohlenprismas gleichmäßig erfolgt, d. h., daß die zuzuführenden Wärmemengen den anliegenden Kohlenmengen proportional sind. Denn eine gleichmäßige Beheizung ist sowohl für die Erzeugung eines guten Koks als auch für ein günstiges Ausbringen an Nebenprodukten die erste Bedingung.

Bei der Beheizung in wagerechter Richtung ist darauf zu achten, daß die Heizkammern auf der Koks- und auf der Maschinenseite um ein gewisses Maß über die Stirnwände der Ofenkammer hinausragen; denn sonst bleibt der Koks an den Kopfenden infolge der dort stattfindenden größern Abkühlung ungar. Auch beheizt man aus diesem Grunde die Kopfenden etwas stärker. Ja, man hat sogar schon versucht, die Ofentüren selbst noch mit Heizzügen zu versehen. Abgesehen jedoch davon, daß dabei dieselben Folgen eintreten wie bei der Sohlenbeheizung, dürfte eine praktische Notwendigkeit dafür nicht vorliegen. Denn bei Öfen, bei denen die erwähnten Anordnungen getroffen waren, konnte zwar beobachtet werden, daß der Koks an den Kopfenden ein schwarzes Aussehen hatte, also nicht ganz gar war; er war aber doch vollständig massig und grobstückig. Zahlentafel 5 gibt vergleichende Zahlen von einer Anlage im Ruhrbezirk über das Ausbringen von Stück- und Kleinkoks an zwei verschiedenen Batterien von je 60 Öfen. Die Abmessungen der Ofenkammern sind genau gleich, ebenso die Betriebsweise und die Art der eingesetzten Kohle. Nur besteht der Unterschied, daß die Öfen der einen Batterie Sohlenbeheizung haben und die Heizkammern weniger über die Stirnwände der Ofenkammer hinausragen als bei den Öfen der andern Batterie. Aus demselben Grunde wird man es auch, wenn irgend möglich, vermeiden, bei Abhitzeöfen die abfallenden Züge gerade an das Kopfende zu legen. Zweckmäßiger wird es sein, dort einen Brenner anzuordnen und die kältern Abhitzegase nach der heißern Mitte hin abfallen zu lassen. Bei manchen Öfen hat man sogar die abfallenden Züge unmittelbar in die Mitte der Heizkammer gelegt. Eine solche Ausführung ist zwar vom Standpunkt der gleichmäßigen Beheizung aus richtig, aber insofern unpraktisch, als sie zwei Gaszuführungsleitungen notwendig macht. Da die Ofenkammer nach der Koksseite zu breiter wird, ist auch auf dieser Seite die zu verkokende Kohlenmenge entsprechend größer. Man muß also, entsprechend den Ofenbreiten, von der Maschinenseite nach der Koksseite hin mehr Gas zuführen, was sich bei den meisten heutigen Bauarten leicht dadurch erreichen läßt, daß man Düsen von verschieden großem Brennerquerschnitt anbringt.

Die Beheizung in senkrechter Richtung erfolgt meist von unten nach oben, dem natürlichen Auftrieb der Flamme entsprechend. Nur bei einer Bauart brennt das Gas von oben nach unten, was den Vorteil bieten soll, durch entsprechende Verlegung der Brennerstelle den obern Teil der Verkokungskammer kühl halten und

Zahlentafel 5.

Koksausbringen zweier verschiedener Batterien.

Monat	Ofen mit kalter Sohle		Ofen mit heißer Sohle	
	Ausbringen an			
	Stückkoks %	Kleinkoks und Asche %	Stückkoks %	Kleinkoks und Asche %
April	74,4	2,1	72,6	3,2
Mai	74,6	2,3	73,8	3,3
Juni	76,8	2,1	74,8	3,3
Juli	74,8	2,1	74,6	3,2
August	74,3	2,0	73,3	3,0
September .	73,4	2,5	72,4	3,6
Oktober	73,9	2,6	72,8	3,9
November ..	75,6	2,9	75,3	3,7
Dezember ..	73,6	2,5	73,4	3,7
Durchschnitt	74,6	2,3	73,7	3,4

dadurch die Destillationsgase vor Überhitzung bewahren zu können. Jedoch dürfte die Überlegung, daß der Wärmeinhalt des Gases an der Verbrennungsstelle am größten ist und dort demnach auch die Verkokung schneller vor sich geht, ferner, daß die Kohle im obern Teil der Kammer weniger dicht gelagert ist, also die zu verkokenden Mengen kleiner sind, leicht erkennen lassen, daß die aufsteigenden Destillationsgase, ehe sie in die kühlere obere Schicht gelangen, eine heißere Zone durchstreichen müssen und so eine Zersetzung erfahren. Richtiger dürfte die Beheizung von unten nach oben sein. In diesem Falle findet eine Temperaturabnahme von unten nach oben statt, da die Heizgase bei ihrem Emporsteigen einen Teil ihrer Wärme abgeben. Die größten Wärmemengen sind also bei dieser Anordnung dort vorhanden, wo man ihrer am meisten bedarf. Denn einmal liegt die Kohle infolge der Belastung der obern Schichten nach der Sohle zu viel dichter, und ferner nimmt der Wassergehalt der Kohle nach unten hin zu, da das Wasser nach unten sickert. Im untern Teil der Kammer wird also für dieselbe Menge von Kohle eine größere Wärmemenge erforderlich sein als im obern.

Um das Ausbringen an Nebenprodukten möglichst günstig zu gestalten, muß man vor allem Sorge tragen, daß der obere Teil der Verkokungskammer nicht zu stark beheizt wird, damit die Destillationsgase, wie schon erwähnt wurde, möglichst wenig zersetzt werden. Das Heizgas soll deshalb, wenn es die senkrechten Züge verläßt, schon vollständig verbrannt sein, was man durch die an den Stirnwänden der Heizkammer angebrachten Schaulöcher ungefähr überwachen kann. Die Erhitzung der obern Kohlenfüllung überhaupt soll lediglich den Abhitzegasen zufallen. Je niedriger die Entgasungstemperatur ist, desto höher ist im allgemeinen das Ausbringen an Nebenprodukten, desto besser das erzeugte Destillationsgas. So wurde auf einer Kokerei im Ruhrbezirk beobachtet, daß bei einer Garungszeit der Öfen von 32 st das Sulfatausbringen um 0,2% geringer wurde als bei einer Garungszeit von 48 st. Die Öfen gingen bei der kürzern Garungszeit natürlich entsprechend heißer, wodurch mehr Ammoniak

zersetzt wurde. Nach Bunte gab dieselbe Kohle bei verschiedenen Ofentemperaturen eine Gaszusammensetzung, die in Zahlentafel 6 wiedergegeben ist. Bei dem heutigen Bestreben, die Leistungsfähigkeit des Koksofens durch Abkürzung der Garungszeit zu erhöhen, muß man natürlich auch mit einer mehr oder minder hohen Entgasungstemperatur arbeiten, d. h. also auch die Ausbeute an Nebenprodukten vermindern.

Zahlentafel 6.

Zusammensetzung des Destillationsgases bei verschiedenen Ofentemperaturen.

Bestandteile des Gases	Ofentemperaturen		
	1050° C	1180° C	1250° C
CO_2 ..... %	2,7	2,6	2,4
Schwere Kohlenwasserstoffe... %	4,2	3,7	3,7
O_2..... %	0,7	0,9	0,6
CO..... %	9,5	9,4	10,2
H_2 ..... %	49,8	50,6	52,8
CH_4..... %	29,7	29,6	28,9
N_2 ..... %	3,7	3,2	1,4

Ferner liegt es im Interesse eines günstigen Ausbringens an Nebenprodukten, den Druck in der Heizkammer möglichst dem in der Verkokungskammer gleichzuhalten. Da die Trennungswände zwischen Heiz- und Verkokungskammer nie ganz dicht sind, wird bei einem geringern Druck in der Heizkammer ein Übertreten von Destillationsgas in die Heizkammer erfolgen, d. h., die Ausbeute wird geringer werden. Im umgekehrten Falle, bei geringerm Druck in der Verkokungskammer, wird Verbrennungsgas in das Destillationsgas gesaugt. Neben einer Vermischung tritt auch eine teilweise Verbrennung des Destillationsgases ein, da das Verbrennungsgas meist noch freien Sauerstoff enthält. Auf die Absaugung des Destillations- und des Verbrennungsgases muß man daher, u. zw. vor allem bei der Abgabe von Leuchtgas, besonders achten. Um dabei eine Verschlechterung des Gases für jeden Fall zu verhindern, wird man die Saugung so einstellen, daß stets ein geringer Überdruck in der Verkokungskammer gegenüber dem in der Heizkammer herrscht, so daß also nur ein Verlust an Destillationsgas eintreten kann. Daß aus dem gleichen Grunde die Ofentüren durch sorgfältiges Verschmieren mit Lehm und durch Pinseln mit Lehmwasser dicht gehalten werden müssen, ist schon oben erwähnt worden.

Beachtenswert sind bei der Beheizung noch folgende Punkte: Die beheizte Wandfläche soll ganz mit Kohle bedeckt sein, und im Kohlenkuchen sollen keine Hohlräume vorhanden sein. Überhaupt soll die Kohle möglichst dicht liegen; denn je dichter sie liegt, desto fester wird der Koks und desto größer auch das Ausbringen an Stückkoks. Ferner ist der Betrieb so einzurichten, daß zwischen dem Besetzen zweier benachbarter Öfen ein gewisser Zeitraum liegt, damit in der dazwischen liegenden Heizwand kein großer Temperaturrückgang stattfindet. Abb. 7 veranschaulicht die Temperaturabnahme in einer Heizwand, bei der die Füllzeiten der beiden anliegenden Öfen nur 1¼ st auseinanderlagen. Die Temperatur ging danach um 190° zurück und begann erst nach etwa 8 st wieder langsam zu steigen. Ist dagegen dieser Zeitraum genügend groß, so treten kaum nennenswerte Abkühlungen der Heizwand ein (vgl. die Abb. 5 und 6). Der eine Ofen ist dann in der Garungszeit schon so weit vorgeschritten, daß der an der Wand der Ofenkammer liegende glühende Koks keinen großen Temperaturrückschlag zuläßt. Als Mindestmaß dieses Zeitraumes dürfte man erfahrungsgemäß etwa 5 st bezeichnen.

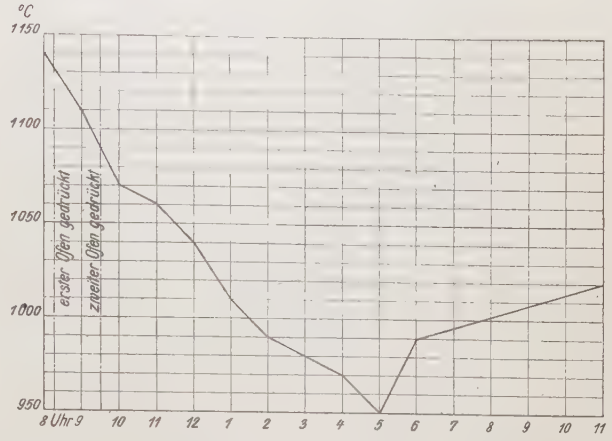

Abb. 7. Temperatur in der Heizwand bei unzeitmäßigem Besetzen der beiden anliegenden Ofenkammern.

In der gegenwärtigen Zeit machen sich Bestrebungen bemerkbar, sog. Vertikalöfen nach dem Vorbild von Appolt wieder zur Einführung zu bringen. Dabei dürfte es aber äußerst schwierig sein, die hohen Wände dicht zu halten. Auch ist die Anordnung der Beheizungsorgane natürlich viel verwickelter, und es wird schwer zu erreichen sein, die Beheizung, die in der senkrechten Richtung stufenweise in verschiedener Höhe erfolgt, an allen Stellen gleichmäßig zu gestalten.

Die Koksöfen von Koppers.

Während der Otto-Ofen lange Jahre hindurch unerreicht in seiner Vollkommenheit dagestanden und eine weite Verbreitung gefunden hatte, kam vor etwa einem Jahrzehnt der Koksofen von Koppers auf den Markt, der in Deutschland und im Ausland großen Anklang gefunden hat. Die Öfen von Koppers sind ebenso wie die Otto-Öfen mit wagerechten Kammern, einkammerigen Zwischenwänden, senkrechten Zügen und Unterbrennerheizung versehen. Sie sind vor allem dadurch gekennzeichnet, daß das Gas zur Erzielung einer gleichmäßigen Beheizung an möglichst vielen Stellen der Heizkammer zur Verbrennung gelangt. Jeder senkrechte Zug hat deshalb seinen eigenen Brenner, der für sich geregelt werden kann.

Der Abhitzeofen.

Die Heizwand des Abhitzeofens ist in 30 senkrechte Züge geteilt, von denen 28 beheizt werden, während die

beiden letzten, an der Maschinenseite gelegenen Züge zur Abführung der Verbrennungsgase nach dem Abhitzekanal dienen. Von der Anordnung eines Endbrenners an dieser Stelle ist Abstand genommen worden, weil dazu eine zweite Gaszuführungsleitung erforderlich wäre. Die Heizkammern sind statt dessen hinreichend weit über die Stirnwände der Ofenkammer hinaus gelegt, so daß der Koks dort genügend gar und vollständig grobstückig ist. Auf die Konizität des Ofens ist in der Weise Rücksicht genommen, daß Düsen von dreifach verschieden großem Brennerquerschnitt eingesetzt sind, der bei den Düsen an der Koksseite naturgemäß am größten ist. Um der Gleichmäßigkeit der Beheizung in senkrechter Richtung Genüge zu leisten, ist die Trennungswand zwischen Heiz- und Ofenkammer im untern Teil, also da, wo der Wärmeinhalt des Gases am größten ist, bis zu einer gewissen Höhe etwas stärker ausgeführt. Eine größere Steinstärke besitzt auch die Trennungswand im obern Teil, an dem über den senkrechten Zügen verlaufenden wagerechten Kanal. Infolge dieser Anordnung soll, wie schon erwähnt wurde, der obere Teil der Ofenkammer möglichst wenig beheizt werden, um eine Zersetzung des Destillationsgases zu verhindern, und ferner soll der Sammelkanal der Verbrennungsgase für den Fall besonders dicht gehalten werden, daß Stauungen im Abzug der Gase eintreten, durch die der Druck in der Heizkammer größer werden könnte als der in der Ofenkammer.

Die Regelung der Heizgasmenge erfolgt für die ganze Ofenbatterie durch einen Schieber in der Hauptgasleitung, für jede Heizwand durch einen Hahn, der an dem von der Hauptgasleitung nach dem Verteilungskanal führenden Anschlußrohr angebracht ist. Zur Regelung der Luftzufuhr dient für die ganze Batterie der Hauptschieber am Kamin, für jede Heizwand die an der Stirnseite eines jeden Ofens angebrachte Klappe sowie der Schieberstein im Fuchs.

Die feinere Regelung der Luft- und Gaszufuhr wird für jeden einzelnen senkrechten Zug durch einen über ihm angebrachten Schieberstein bewirkt, so daß die Beheizung nicht ausschließlich durch Drosselung der Gas- und Luftzufuhr, sondern außerdem durch einen Drosselwiderstand auf dem Wege der abziehenden Verbrennungsgase geregelt wird. Der Drosselquerschnitt verringert sich, je näher der senkrechte Zug nach der Esse zu liegt, nimmt also nach der Maschinenseite hin ab. Die Schiebersteine werden nur einmal, bei Inbetriebsetzung der Öfen, eingestellt und sind ebenso wie die Gasdüsen durch oben angeordnete und mit Deckplatten verschließbare Öffnungen zugänglich. Da die Düsen heiß liegen, können sie durch die Teerbestandteile, die das Gas noch immer enthält, nicht verstopft werden. Die Reinigung oder Auswechslung einer Düse ist nur selten erforderlich und dann allerdings mit einigen Schwierigkeiten verknüpft, da die Düse von oben mit einer langen Stange herausgeholt werden muß.

Die Verbrennung des Heizgases ist im regelrechten Betrieb beim Austritt aus den senkrechten Zügen beendet. Nur hin und wieder tritt aus manchem senkrechtem Zug noch unverbranntes Gas in den wagerechten Kanal. Das unverbrannte Gas mischt sich dann auf dem

Zahlentafel 7.

Temperaturen in den Heizwänden des Abhitzeofens von Koppers.

Nr. der Ofenwand	Zeit seit dem Besetzen der benachbarten Ofenkammern		Temperaturen an der Koksseite	Temperaturen an der Maschinenseite	Temperaturen im Abhitzekanal (unter den abfallenden Zügen gemessen)
	Ofen	st	°C	°C	°C
67/68	67	4	920	890	840
	68	6½			
73/74	73	9	960	940	930
	74	4			
116/117	116	23	900	960	820
	117	29			
111/112	111	3	910	950	900
	112	15			
95/96	95	5	910	930	900
	96	9½			
78/79	78	12	950	970	910
	79	5			
87/88	87	30	1010	1030	950
	88	5½			
73/74	73	15½	850	940	880
	74	13			
118/119	118	19	1000	940	910
	119	9			
114/115	114	16	980	910	890
	115	24½			
67/68	67	30	980	970	890
	68	4			
73/74	73	4	900	990	910
	74	28			
78/79	78	25	980	1020	1010
	79	28			
89/90	89	17	1020	1050	1010
	90	24			
97/98	97	29	930	1060	990
	98	3			
110/111	110	28	920	1000	900
	111	8			
113/114	113	15	960	980	890
	114	25			
115/116	115	12	960	930	910
	116	30			
118/119	118	16	930	940	900
	119	8			
64/65	64	29	1010	1000	920
	65	7			
76/77	76	24	930	970	890
	77	17			
108/109	108	19	980	990	930
	109	10			
85/86	85	20	950	970	880
	86	5			
99/100	99	29	1020	980	—
	100	5			
89/90	89	4	960	970	—
	90	25			
119/120	119	5	980	940	890
	120	2			
106/107	106	2	950	1020	970
	107	10			

Zahlentafel 8.

Temperaturmessungen im Kokskuchen.

	Nr. des Ofens			
	81	93	88	65
Fülloch I Koksseite . . .	890 °C	910 °C	1010 °C	900 °C
„ II Mitte	1000 „	1070 „	920 „	990 „
„ III Maschinenseite .	910 „	930 „	960 „	920 „

Wege zum Abhitzekanal mit der überschüssigen Luft anderer senkrechter Züge und verbrennt so. Treten aus irgendeinem Grunde Störungen in der Luftzufuhr einer ganzen Heizkammer ein, so erfolgt erst im Abhitzekanal selbst mit Hilfe der überschüssigen Luft aus andern Heizkammern eine Nachverbrennung. Durch Schaulöcher, die am Abhitzekanal und an den Stirnwänden der Heizkammer angebracht sind, läßt sich die Verbrennung ungefähr überwachen.

Die Temperaturverhältnisse des Abhitzeofens von Koppers zeigen die Zahlentafeln 7 und 8 sowie die Abb. 5, 6 und 8. Sie stellen den Durchschnitt einer Reihe von Messungen bei gewöhnlichen Betriebsverhältnissen dar. Die Temperaturmessungen der vorliegenden Arbeit wurden mit einem 1500 mm langen Pyrometer nach Le Chatelier ermittelt; die einzelnen Meßstellen sind in den Abb. 9–12 angegeben. Die Temperaturen, die durch die Schaulöcher hindurch aufgenommen wurden, sind also sämtlich in einer Entfernung von rd. 1500 mm von diesen gemessen. Die Messungen im Kokskuchen, die durch die drei Füllöcher erfolgten, wurden kurz vor dem Drücken des Kokskuchens ausgeführt. Das Thermoelement ragte dabei nur etwa 400 mm in den Kokskuchen hinein; die gefundenen Werte können also nicht als durchschnittliche Temperatur des ganzen Kokskuchens angesehen werden, da die Temperatur im untern Teil bedeutend höher sein muß. Man kann aber ganz deutlich

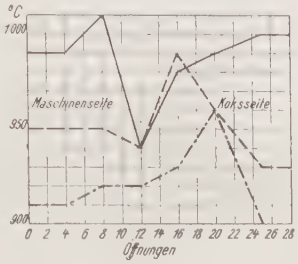

Abb. 8. Temperaturverlauf im wagerechten Sammelkanal der Heizwand des Abhitzeofens von Koppers, gemessen durch die Öffnungen in der Decke.

sehen, daß die Temperatur in der Mitte des Kokskuchens stets am höchsten ist und nach den beiden Kopfenden hin infolge der dort stattfindenden größern Abkühlung fällt. Die Messungen im wagerechten Sammelkanal der Abgase sind sowohl beim Abhitzeofen als auch beim Regenerativofen nicht gleichzeitig, sondern in einem Zeitraum von rd. 20 min vorgenommen worden.

Der Regenerativofen.

Während bei den Regenerativöfen aller andern Bauarten die ganze Ofengruppe einen gemeinsamen Regenerator hat, sind die Koppers-Öfen vor allem dadurch gekennzeichnet, daß jeder einzelne Ofen mit seinem eigenen Regenerator ausgerüstet ist, wodurch dann jede Heizkammer für sich völlig unabhängig wird. Ferner sind die Regeneratoren nicht an den Kopfenden unterhalb der Ofenkammersohle eingebaut, sondern sie liegen unmittelbar unter der Ofenkammer. Diese Anordnung hat den Vorteil, daß die Wärme besser zusammengehalten wird und die Strahlungsverluste verhältnismäßig gering ausfallen. Auch hat der Regenerator von Koppers sehr große Abmessungen, so daß den Abhitzegasen eine sehr große nutzbare Heizfläche zur Verfügung steht. Auf eine je größere Steinmasse man aber die aufgespeicherte Wärmemenge verteilt, desto geringer wird bei gleich starker Wärmezufuhr und Wärmeentziehung der Temperaturunterschied, d. h. also, desto geringer werden auch die Temperaturschwankungen während der einzelnen Umstellzeiten.

Die Erzielung einer gleichmäßigen Beheizung ist infolge des steten Richtungswechsels des Gasstromes bedeutend schwieriger zu bewerkstelligen als beim Abhitzeofen, wie ja auch die Bauart der Beheizungswege beim Regenerativofen aus diesem Grunde viel

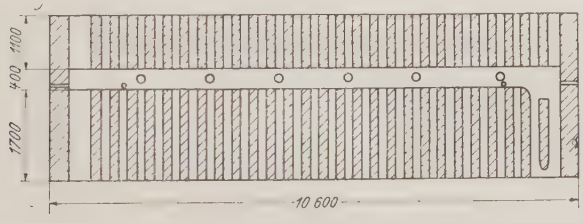

Abb. 9. Meßstellen in der Heizwand

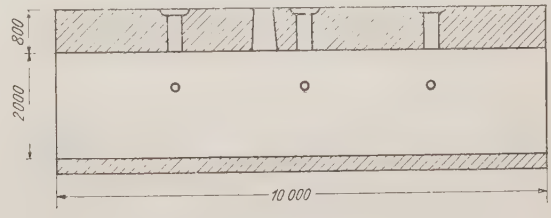

Abb. 10. Meßstellen in der Verkokungskammer des Abhitzeofens von Koppers.

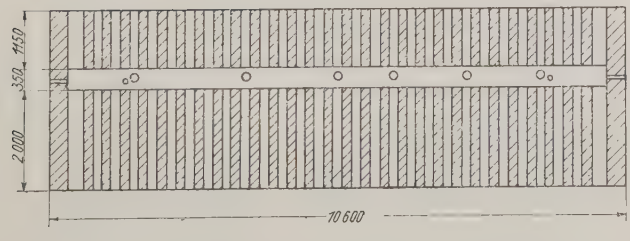

Abb. 11. Meßstellen in der Heizwand

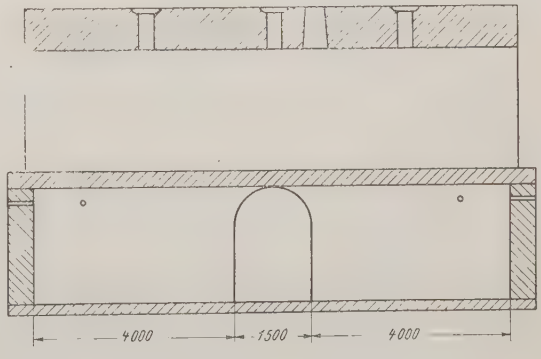

Abb. 12. Meßstellen im Regenerator des Regenerativofens von Koppers.

verwickelter wird. Durch Anordnung von Düsen mit verschieden großem Brennerquerschnitt ist der Konizität der Ofenkammer nur während des Aufsteigens der Gase Rechnung getragen. Während des Abfallens sucht man dies dadurch zu erreichen, daß man die auf der Koksseite abfallenden Abhitzegase auf einen schmalern Raum zusammendrängt. Dadurch will man die Wärme für die Beheizung der Koksseite, für die dieselbe Gasmenge zur Verfügung steht wie für die Maschinenseite, mehr zusammendrängen und so eine kräftigere Wirkung erzielen. Zu diesem Zweck befindet sich der den Regenerator teilende Gewölbekanal nicht genau in der Mitte, sondern etwas mehr nach der Koksseite zu, so daß die nach dieser Seite hin liegende Hälfte der Heizkammer für 14, die nach der Maschinenseite hin liegende dagegen für 15 Düsen Raum bietet.

Vielfach wird angenommen, daß durch diese unsymmetrische Teilung der Heizwand der breitern Ofenseite dieselbe Wärmemenge auf geringerm Raume zugeführt wird wie der schmalern. Diese Annahme dürfte jedoch, wie nachfolgende Betrachtung zeigt, nicht zutreffen.

Zunächst sei angenommen, daß die Heizwand in zwei gleiche Teile mit gleicher Düsenzahl geteilt ist[1].

Es bezeichnen:

G die Heizgasmenge in kg, die durch jeden Heizzug in der Zeiteinheit hindurchströmt,
c die spezifische Wärme des Heizgases,
T_1 die Temperatur der aufsteigenden Heizgase in den einzelnen Gasdüsen,
T_2 die Temperatur der Heizgase im obern wagerechten Kanal,
T_3 die Temperatur der herabfallenden Heizgase an der Austrittstelle an der Maschinenseite, wenn die Heizgase auf der Koksseite brennen, und
T_4 die Temperatur der herabfallenden Heizgase an der Austrittstelle auf der Koksseite, wenn die Heizgase auf der Maschinenseite brennen.

Beträgt nun die Anzahl der Düsen insgesamt 30, d. h. 15 an einer Ofenhälfte, so ergibt sich folgende Gleichung:

$$15Gc(T_1-T_2)+15Gc(T_2-T_4)=15Gc(T_1-T_2)+15Gc(T_2-T_3),$$
$$\text{d. h. } T_4=T_3.$$

In diesem Falle erhält also die eine Ofenseite dieselbe Wärmemenge wie die andere.

Ferner sei angenommen, daß die Heizwand in zwei ungleiche Teile geteilt ist, so daß die Anzahl der Düsen in dem nach der Maschinenseite hin liegenden Teil größer ist als in dem andern, nach der Koksseite zu liegenden.

Bezeichnet man mit:

Q_1 die Wärmemenge, die an die Heizwand des kleinern Teiles durch die aufsteigenden Heizgase in der Zeiteinheit abgegeben wird,
Q_2 die Wärmemenge, die an dieselbe Wand durch die herabfallenden Gase in der Zeiteinheit abgegeben wird,
Q_3 und Q_4 in demselben Sinne die Wärmemenge, die die Heizgase bei auf- bzw. absteigender Richtung an die Wand des größern Teiles in der Zeiteinheit abgeben,
t die Zeit, während der eine Heizwand entweder durch die aufsteigenden oder die abfallenden Gase beheizt wird,
x die Zahl der Düsen der Heizwand und
y die gesamte Düsenzahl auf der ganzen Ofenlänge, also auf den Heizwänden des kleinern und größern Teiles zusammen,

so erhält man für den Fall, daß der breitern Ofenseite dieselbe Wärmemenge zugeführt werden soll, folgende Gleichung:

$$Q_1t + Q_2t = Q_3t + Q_4t.$$

Nun ist ferner:

$$Q_1 = G\ c\ (T_1-T_2)\ t\ (y-x)$$
$$Q_2 = G\ c\ (T_2-T_4)\ t\ x$$
$$Q_3 = G\ c\ (T_1-T_3)\ t\ x$$
$$Q_4 = G\ c\ (T_2-T_3)\ t\ (y-x).$$

Setzt man diese Werte in obige Gleichung ein, so erhält man:

$$(T_1-T_2)\ (y-x)+(T_2-T_4)\ x=(T_1-T_2)\ x+(T_2-T_3)\ (y-x),$$

oder:

$$x\ T_4 = T_3\ (y-x) + 2\ T_2\ (2\ x-y) - T_1\ (2\ x-y).$$

T_4 und T_3 sind offenbar Funktionen der Größe x, die als Variable zu behandeln ist, da y konstant ist. T_4 und T_3 stehen deshalb in einem gesetzmäßigen Zusammenhang, wonach also T_4 größer oder kleiner als T_3 ist. Bezeichnet man mit u eine Größe, um die T_4 größer oder kleiner als T_3 ist, so erhält man die Gleichung:

$$x(T_3 \pm u) = T_3\ (y-x) + 2T_2\ (2\ x-y) - T_1\ (2\ x-y).$$

Daraus ergibt sich:

$$\pm\ u = \frac{(2\ T_2 - T_1 - T_3)\ (2x-y).}{x}$$

In dieser Gleichung sind T_2 und T_1 Konstanten dagegen ist T_3 mit x veränderlich. Es läßt sich aus ihr folgendes schließen:

Der Faktor $(2x-y)$ ist stets positiv, da

$$x > \tfrac{1}{2}\ y \text{ also}$$
$$2x > y \text{ ist;}$$

dagegen ist der Faktor $(2T_2-T_1-T_3)$ stets negativ. Dadurch wird u also auch negativ, d. h. T_4 müßte kleiner sein als T_3, was aber nicht möglich ist.

Da bei dem Regenerativofen zwei Gaszuführungsleitungen erforderlich sind, liegt auch die Möglichkeit vor, je nach Bedarf der einen Seite mehr Gas zuzuführen als der andern. Um eine zweckmäßige Beheizung in senkrechter Richtung zu erzielen, ist ebenso wie beim Abhitze-

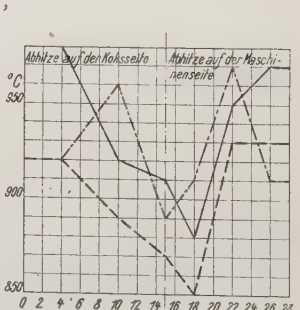

Abb. 13. Temperaturverlauf im wagerechten Sammelkanal der Heizwand des Regenerativofens von Koppers, gemessen durch die Öffnungen in der Decke.

[1] Nach Mitteilung von O. Simmersbach.

ofen die Steinstärke an der Sohle und im obern Teil etwas größer.

Die Regelung der Gas- und Luftzufuhr erfolgt ebenso wie beim Abhitzeofen durch Drosselung der senkrechten Züge. Der Drosselquerschnitt nimmt dabei naturgemäß von der Mitte nach den beiden Seiten hin ab. Durch die Anordnung der Drosselschieber kann auch beim Regenerativofen die Verbrennungsluft für jeden einzelnen senkrechten Zug geregelt werden, eine Möglichkeit, die bei andern Regenerativofenarten nicht

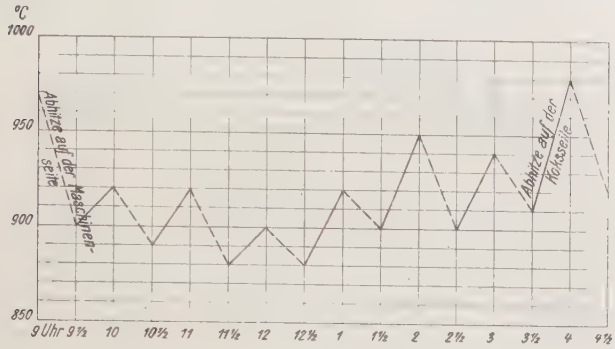

Abb. 14. Temperaturschwankungen im Regenerator von Koppers, gemessen durch das Schauloch auf der Koksseite.

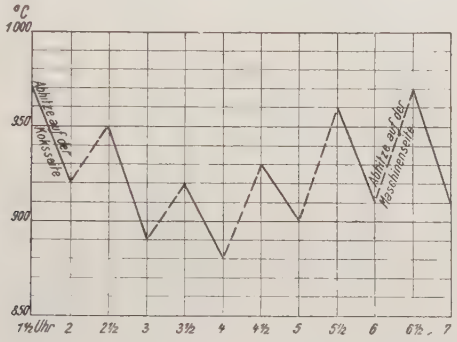

Abb. 15. Temperaturschwankungen im Regenerator von Koppers, gemessen durch das Schauloch auf der Maschinenseite.

vorliegt. Die Verbindung eines jeden Regenerators einmal mit dem Abzugkanal am Kamin, das andere Mal mit der zuströmenden Verbrennungsluft erfolgt durch ein gußeisernes Kniestück, das in seinem obern Teil eine Klappe zur Regelung der Luftzufuhr und in seinem untern Teil einen Schieber zur Regelung des Kaminzuges für die Abhitze besitzt. Diese Anordnung befindet sich an beiden Enden der Ofenkammer. Die Luftklappe sowie die Hähne der Düsenleitung sind mit einem Zugseil verbunden, mit dessen Hilfe in halbstündigen Zwischenräumen die Umstellung erfolgt.

Die Verbrennung ist wie bei den Abhitzeöfen meist beim Austritt der Gase aus den senkrechten Zügen beendet. Jedoch kommt es bei den Regenerativöfen öfter als bei jenen vor, daß eine Verbrennung noch in den abfallenden Zügen stattfindet, u. zw. aus folgendem Grunde. Die Mischung des Gases mit der Verbrennungsluft erfolgt später und allmählicher, und auch der Essenzug muß infolge der Bewegungswiderstände im Regenerator etwas stärker sein, so daß also die Heizgase die Kammer schneller durchziehen als beim Abhitzeofen. Für den Fall einer Nachverbrennung in den abfallenden Zügen sind dann auch die Temperaturschwankungen während der einzelnen Umstellzeiten geringer, als wenn das Gas schon beim Aufsteigen vollständig verbrennt. Ja bei Messungen in der Heizwand

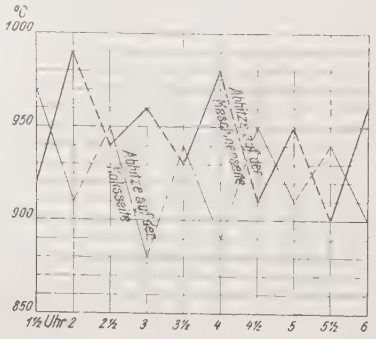

Abb. 16. Temperaturschwankungen in der Heizwand des Regenerativofens von Koppers, gemessen am Schauloch der Koksseite und gleichzeitig auf der Maschinenseite.

konnte sogar in einigen Fällen beobachtet werden, daß die Temperatur beim Abfallen der Gase höher wurde, als sie vor dem Umstellen beim Aufsteigen des Gases gewesen war (s. Zahlentafel 9). Wie die gleichzeitig genommenen Abgasproben zeigen (s. Zahlentafel 10), war diese unvollständige Verbrennung die Folge eines ungenügenden Luftüberschusses.

Der Luftüberschuß muß beim Regenerativofen besonders wegen der schon erwähnten schlechtern Mischung von Luft und Gas viel höher sein als beim Abhitzofen.

Zahlentafel 9.

Temperaturen in der Heizwand eines Regenerativofens, gemessen am Schauloch der Koksseite.

Nr. der Heizwand	Zeitpunkt der Temperaturmessung	Abhitze auf der Koksseite °C	Abhitze auf der Maschinenseite °C
27/28	4½ Uhr	1120	—
	5 „	—	1050
	5½ „	1110	—
	6 „	—	1060
	6½ „	1100	—
39/40	9 „	—	1020
	9½ „	1070	—
	10 „	—	1030
	10½ „	1090	—
	11 „	—	1050
30/31	3½ „	970	—
	4 „	—	920
	4½ „	990	—
	5 „	—	920

Zahlentafel 10.

Abgasanalysen.

Nr. der Heizwand	CO_2 %	O_2 %	CO %
27/28	6,0	2,1	2,4
	4,8	0,7	2,7
	4,2	1,1	4,0
39/40	4,5	0,9	3,5
	5,4	1,8	4,4
30/31	6,3	1,4	2,1
	5,7	2,1	2,0
	7,0	3,6	1,9

Zahlentafel 11.

Temperaturschwankungen im Regenerator von Otto,

gemessen am Schauloch der Maschinenseite.

Zeitpunkt der Temperaturmessung	Abhitze auf der Maschinenseite °C	Abhitze auf der Koksseite °C
2 Uhr	910	—
$2^1/_2$ „	—	820
3 „	910	—
$3^1/_2$ „	—	850
4 „	920	—
$4^1/_2$ „	—	870
5 „	940	—

Er beträgt, wie sich aus der weiter unten mitgeteilten Analyse ergibt, bei Regenerativöfen 21,5, bei Abhitzeöfen dagegen nur 13,5%.

Die Temperaturverhältnisse des Regenerativofens von Koppers, wie sie auf der Kokerei einer andern Zeche festgestellt wurden, zeigen die Abb. 13–16. Der Temperaturunterschied während der einzelnen Umstellzeiten beträgt danach etwa 50°. Etwas größer zeigte sich dieser Unterschied im allgemeinen bei den Messungen, die in den Heizwänden an der Koksseite und gleichzeitig an der Maschinenseite vorgenommen wurden. Man kann demnach diese Unterschiede wohl als praktisch bedeutungslos bezeichnen. Temperaturunterschiede von 200 - 300° zwischen den einzelnen Umstellungen, wie sie angegeben werden, dürften wohl überhaupt bei allen neuzeitlichen Ofenarten unter regelmäßigen Betriebsverhältnissen ausgeschlossen sein. So wurden z. B. auch bei einem Regenerativofen von Otto mit vierteiliger Heizwand am Kopfende des Regenerators Temperaturen festgestellt, die die Zahlentafel 11 zeigt. Man sieht also, daß es mit der Umstellheizung, die man sonst immer als einen so großen Nachteil der Regenerativöfen bezeichnet, bei den neuzeitlichen Ofenbauarten nicht so schlecht bestellt ist.

Wärmebilanz des Abhitzeofens von Koppers.

Die Wärmebilanz des Abhitzeofens bezieht sich auf eine Kokereianlage, die aus 120 Abhitzeöfen, 60 Otto-Öfen aus dem Jahre 1907 und 60 Koppers-Öfen aus dem Jahre 1909 besteht. Die beiden Batterien sind mit je einer Dampfkesselanlage von 8 Kesseln verbunden, von denen 7 stets in Betrieb sind, während einer zur Reinigung ausgeschaltet ist. Die Garungszeit der Öfen beträgt 31 st. In die Öfen werden je 8 t nasse Kohle mit einem Wassergehalt von 12 bis 15% eingesetzt. Auf jeder der beiden Batterien werden bei vollem Betrieb in 24 st 46 Öfen gestoßen und etwa

Zahlentafel 12.

Beschaffenheit der trocknen Kokskohle.

Aschengehalt	%	7,32
Tiegelausbeute nach Muck	%	75,26
Ausbringen im Ofen		
an Koks	%	79,33
„ Teer	%	2,38
„ Sulfat insgesamt	%	1,34
davon flüchtig	%	1,20
„ gebunden	%	0,14
„ Gaswasser	%	4,47
„ H_2S	%	0,21
„ CO_2	%	0,50
Gasgehalt in 1 t Kohle		
ohne CO_2 und H_2S bei 0°/760 mm	cbm	293,3
mit CO_2 „ H_2S „ 0°/760 „	cbm	297,2
ohne CO_2 „ H_2S „ 15°/760 „	cbm	309,4
mit CO_2 „ H_2S „ 15°/760 „	cbm	313,5
Gas — Gewichtsprozente		13,11
Spezifisches Gewicht des Gases		0,33
1 cbm Gas liefert	WE	4 260
1 kg Kohle „	„	1 272

Zahlentafel 13.

Koksofengasanalysen.

CO_2 %	O_2 %	Schwere Kohlenwasserstoffe %	CO %	H_2 %	CH_4 %	N_2 %	Unterer Heizwert (auf 1 cbm berechnet) WE
3,0	0,3	2,2	6,1	48,2	22,1	18,1	3 756
2,5	0,7	2,7	5,6	47,7	23,2	17,6	3 930
3,2	0,4	2,1	6,0	47,8	22,9	17,6	3 804
2,7	0,4	1,6	6,1	50,3	23,4	15,5	3 807
3,0	0,8	2,2	6,2	47,9	22,4	17,5	3 783
3,1	0,6	2,4	4,5	49,4	25,3	14,7	4 059
2,8	0,5	2,4	6,1	51,6	23,4	13,2	4 008
3,3	0,8	2,1	4,9	49,4	24,6	14,9	3 950
3,2	1,0	2,1	6,7	47,9	21,8	17,3	3 733
2,2	0,4	1,8	5,2	53,7	27,1	9,6	4 232
3,3	0,5	2,7	6,0	48,6	23,6	15,3	4 005
2,8	0,4	1,8	5,4	49,3	22,8	17,5	3 755
2,5	0,4	2,4	6,5	49,8	23,8	14,6	4 008
2,8	0,6	2,2	6,4	51,6	24,8	11,6	4 091
2,7	0,3	2,6	6,4	51,5	24,2	12,3	4 130
Im Durchschnitt							
2,9	0,5	2,2	5,8	49,7	23,7	15,2	3 937

Zahlentafel 14.

Heizgasverbrauch der Batterie.

Nr. des Versuches	Dauer des Versuches st	Barometerstand mm QS	Druck des Gases in der Leitung mm WS	Temperatur des Gases °C	Mittl. Geschwind. des Gases m/sek	Gasmenge bei t°/Pmm cbm	Gasmenge bei 0°/760 mm cbm	Stündliche Gasmenge bei 0°/760 mm cbm
I	6	765	120	40	7,6	20 618	17 008	2 835
II	24	762	160	43	7,5	81 389	65 581	2 732
III	24	767	140	38	7,8	84 644	71 167	2 965
IV	24	755	110	46	9,3	100 922	78 122	3 255
V	23	758	100	45	9,2	95 677	74 984	3 260
VI	24	761	130	42	9,2	100 488	81 166	3 382
VII	23	760	90	40	9,4	97 757	79 832	3 471

370 t nasse Kohle verkokt, die rd. 320 t trockener Kohle entsprechen. Das Überschußgas wird unter den Dampfkesseln verbrannt.

Um zu einer Wärmebilanz zu gelangen, wurde das gesamte Überschußgas unter die Kessel der Otto-Batterie geleitet, so daß die Kessel der Koppers-Batterie nur mit den Abhitzegasen betrieben wurden. Dann wurde der Verbrauch der Koppers-Batterie an Heizgas gemessen und gleichzeitig wurden die in den Kesseln verdampfte Wassermenge sowie die Temperaturen in der Vorlage und vor der Esse festgestellt. Ferner wurden Abgasproben vor der Esse und Proben der eingesetzten Kohle genommen. Über die festgestellte Beschaffenheit der Kokskohle gibt Zahlentafel 12 Aufschluß. Die Zusammensetzung des zur Beheizung verwendeten Koksofengases ergibt sich aus den Durchschnittsanalysen der Zahlentafel 13. Die Heizgasmenge wurde mit einem Hydrovolumenmesser bestimmt, nachdem vorher mit einem Pitot-Apparat die mittlere Geschwindigkeit im Rohr ermittelt worden war. Wie die Abb. 17 und 18 erkennen

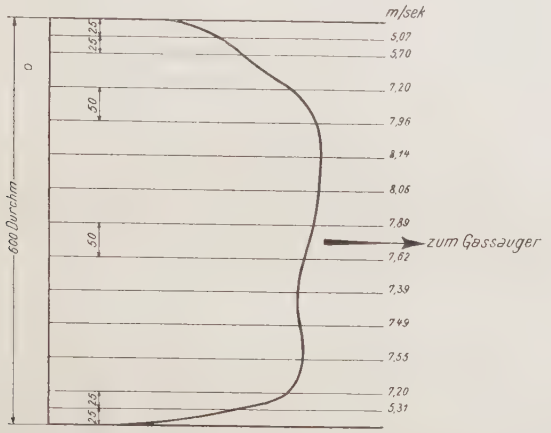

Abb. 17. Geschwindigkeit des Gases im Rohrquerschnitt der Saugleitung (mittlere Geschwindigkeit 7,12 m/sek).

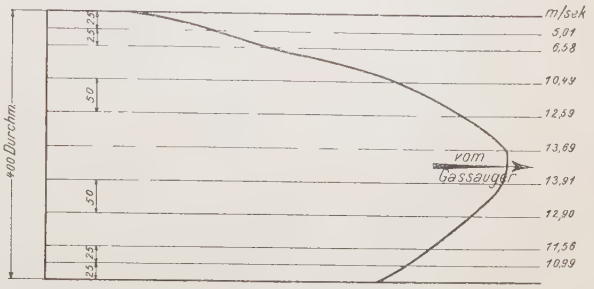

Abb. 18. Geschwindigkeit des Gases im Rohrquerschnitt der Druckleitung (mittlere Geschwindigkeit 10,89 m/sek).

Zahlentafel 15.

Wasserverdampfungsversuche.

Nr. des Versuches	Dauer des Versuches	Temperatur des Speisewassers	Dampfdruck	Temperatur des Dampfes	Temperatur des überhitzten Dampfes	Verdampfte Wassermenge von t °/P at	Verdampfte Wassermenge von 0°/1 at insgesamt	Verdampfte Wassermenge von 0°/1 at l/st	Verdampfte Wassermenge von 0°/1 at auf 1 qm/st	Verdampfte Wassermenge von 0°/1 at auf 1 cbm Gas
	st	°C	at	°C	°C	l	l	l/st	l	l
I[1]	6	39	7,0	164	—	34 533	33 235	5539	7,47	1,95
II[1]	24	36	6,7	162	—	133 704	129 334	5389	7,26	1,97
III	24	38	7,0	164	304	146 167	157 469	6561	8,84	2,21
IV	24	34	6,7	162	298	130 275	140 846	5869	7,91	1,80
V	23	32	7,3	166	297	134 304	145 406	6322	8,52	1,94
VI	24	40	7,0	164	267	149 435	155 797	6445	8,68	1,91
VII	23	39	7,5	167	269	144 912	151 607	6592	8,88	1,89
Durchschnitt	—	37	7,0	164	287	—	—	6102	8,17	1,95

[1] Der Dampf wurde nicht überhitzt.

Zahlentafel 16.

Erzeugung von Destillationsgas.

Nr. des Versuches	Dauer des Versuches	Verkokte Kohle trocken	Verkokte Kohle naß	Wassergehalt der Kohle	Wassergehalt der verkokten Kohle insgesamt	Menge des Destillationsgases ohne Wasserdampf	Temperatur des Destillationsgases
	st	kg	kg	%	kg	cbm	°C
I	6	80 840	92 500	12,6	11 660	24 026	199
II	24	320 420	370 000	13,4	49 580	95 229	202
III	24	321 530	370 000	13,4	48 470	95 559	231
IV	24	318 200	370 000	14,0	51 800	94 569	199
V	23	314 517	357 000	11,9	42 483	93 474	226
VI	24	320 790	370 000	13,3	49 210	95 339	239
VII	23	306 000	357 000	14,3	51 000	90 943	210

Zahlentafel 17.

Ausbringen an Koks.

Nr. des Versuches	Dauer des Versuches	Verkokte Kohle (trocken)	Ausbringen an Koks
	st	kg	kg
I	6	80 840	64 130
II	24	320 420	254 189
III	24	321 530	255 070
IV	24	318 200	252 428
V	23	314 517	249 506
VI	24	320 790	254 483
VII	23	306 000	242 750

Zahlentafel 18.

Menge des Luftbedarfs und der Verbrennungserzeugnisse des Heizgases.

Gasbestandteile Art	Gasbestandteile Menge	Bedarf an Sauerstoff	Bedarf an Verbrennungsluft	Erzeugnisse der Verbrennung CO_2	Erzeugnisse der Verbrennung H_2O	Erzeugnisse der Verbrennung N_2
	cbm	cbm	cbm	cbm	cbm	cbm
CO_2 . .	2,9	—	—	2,9	—	—
C_2H_4 .	1,5	4,496	21,8	3,0	3,0	17,304
C_3H_6 .	0,7	5,26	25,0	4,2	2,1	19,74
O_2 . . .	0,5	—	—	—	—	—
CO . . .	5,8	2,9	13,8	5,8	—	10,9
H_2 . . .	49,7	24,82	118,2	—	49,7	93,38
CH_4 . .	23,7	47,47	226,0	23,7	47,4	178,53
N_2 . . .	15,2	—	—	—	—	15,2
zus.	100,0	84,946	404,8	39,6	102,2	335,054

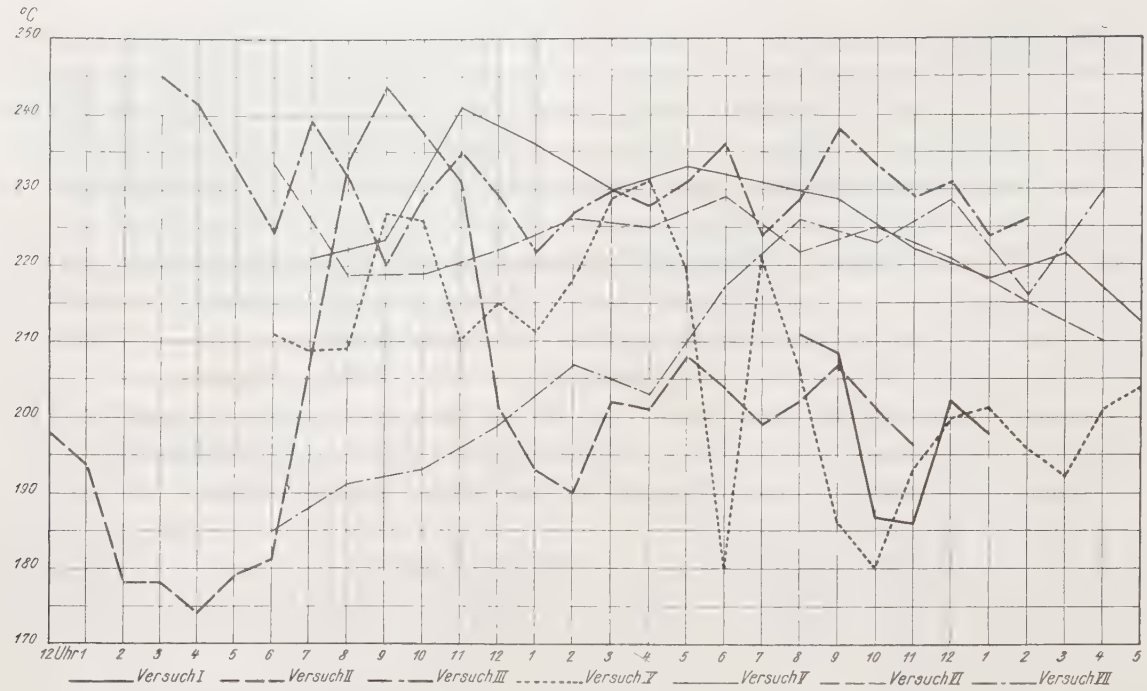

Abb. 19. Temperaturen in der Vorlage des Abhitzeofens von Koppers.

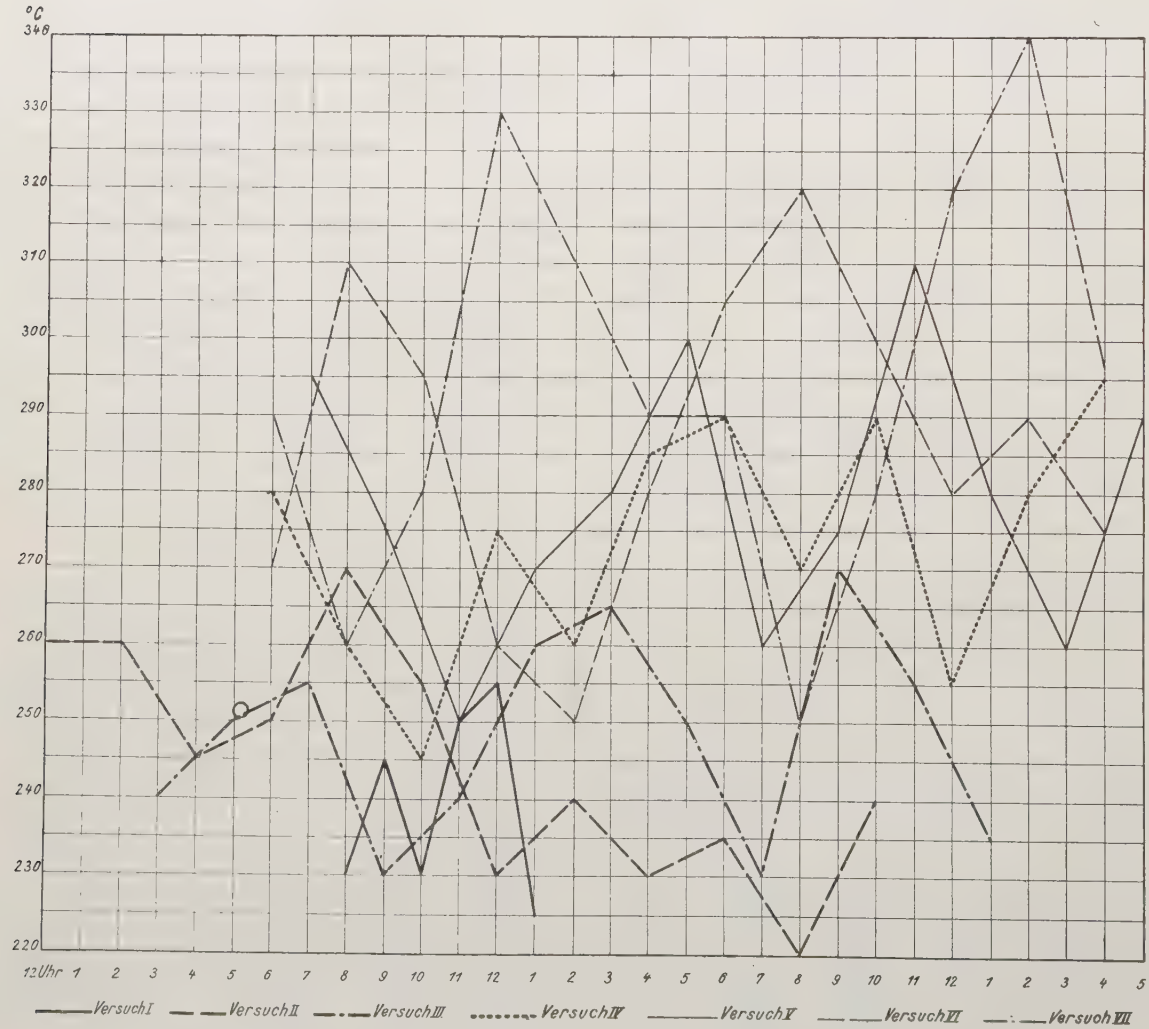

Abb. 20. Temperaturen im Kamin des Abhitzeofens von Koppers.

Zahlentafel 19.

Abgasmengen.

Nr. des Versuches	Dauer des Versuches	Gasmenge bei 0°/760 mm	Menge der Verbrennungserzeugnisse (theor.)	Menge des Luftbedarfs (theor.)	Zugeführte Luftmenge insgesamt	Menge des Luftüberschusses	Menge des Wasserdampfes aus dem Heizgas	Temperatur der Abgase
	st	cbm	cbm	cbm	cbm	cbm	kg	°C
I	6	17 008	81103	68845	79172	10 327	866	239
II	24	65 581	312730	265480	284064	18 584	3 909	244
III	24	71 167	339370	288090	314018	25 928	3 288	248
IV	24	78 122	372530	316240	385813	69 573	5 375	273
V	23	74 984	357570	303540	343000	39 460	4 896	279
VI	24	81 166	387050	328560	381130	52 570	4 602	286
VII	23	79 832	380690	323160	416876	93 716	4 063	295

lassen, liegt die mittlere Geschwindigkeit nicht, wie vielfach angenommen wird, in der Mitte des Rohres. Die Meßergebnisse zeigt Zahlentafel 14. Bei der Ermittlung der Größe der verdampften Wassermenge wurden die Temperatur des Speisewassers und des überhitzten Dampfes sowie der Dampfdruck stündlich abgelesen. Zahlentafel 15 gibt über die Ergebnisse Auskunft. Bei der Bestimmung der Gesamtmenge des erzeugten Destillationsgases (s. Zahlentafel 16) wurde von dem Ergebnis der Kohlenprobe ausgegangen. Auch der Wassergehalt der Kohle wurde jedes Mal ermittelt und bei der Feststellung des Koksausbringens (s. Zahlentafel 17) und der Destillationsgasmenge berücksichtigt. Die Temperatur des glühend ausgestoßenen Kokskuchens wurde durchschnittlich zu rd. 1000° angenommen. Die Menge der Verbrennungserzeugnisse wurde aus der Analyse des Heizgases berechnet; sie geht aus Zahlentafel 18 hervor. Der Wassergehalt des Heizgases und die überschüssigen Luftmengen wurden dabei gleichfalls in Rechnung gezogen (vgl. Zahlentafel 19). Die während der einzelnen Versuche ermittelten Temperaturen in der Vorlage und vor der Esse zeigen die Abb. 19 und 20. Über die Zusammensetzung der Abgase gibt Zahlentafel 20 Auskunft.

Zahlentafel 20.

Ergebnisse der Abgasanalysen.

Nr. des zugehörigen Versuches	Gasbestandteile CO_2 %	O_2 %	CO %	N_2 %	Luftüberschuß %
I	8,2	3,0	—	88,8	
	6,8	6,2	—	87,0	
	9,4	3,0	0,4	87,2	
	8,3	0,7	0,4	90,6	
Durchschnitt	8,2	3,2	0,2	88,4	13,2
II	9,8	1,2	—	89,0	
	10,0	1,0	—	89,0	
	7,9	2,3	—	89,8	
	9,3	1,4	—	89,3	
	9,4	2,6	—	88,0	
	9,0	0,8	—	90,2	
	8,1	2,0	—	89,9	
Durchschnitt	9,1	1,6	—	89,3	6,7
III	10,4	0,8	—	88,8	
	9,6	1,4	—	89,0	
	7,5	5,5	—	87,0	
	8,8	3,4	—	87,8	
	9,8	1,2	—	89,0	
	10,2	1,0	—	88,8	
	10,1	1,5	—	88,4	
Durchschnitt	9,5	2,1	—	88,4	8,9
IV	7,9	2,2	—	89,9	
	8,2	4,5	0,1	87,2	
	8,1	3,6	0,3	88,0	
	5,1	6,8	—	88,1	
	7,1	7,0	—	85,9	
	6,5	9,2	—	84,3	
	7,3	0,3	0,9	91,5	
	9,1	0,9	0,3	89,7	
Durchschnitt	7,4	4,3	0,2	88,1	17,9
V	9,2	3,0	—	87,8	
	9,6	1,8	—	88,6	
	8,7	0,2	0,4	90,7	
	6,5	7,8	—	85,7	
	8,1	0,5	0,2	91,2	
	7,7	1,8	0,2	90,3	
	8,4	3,6	—	88,0	
Durchschnitt	8,3	2,7	0,1	88,9	11,5
VI	5,5	8,3	—	86,2	
	8,9	3,1	—	88,0	
	8,8	3,1	—	88,1	
	9,4	3,2	—	87,4	
	9,5	0,9	—	89,6	
	10,0	1,2	—	88,8	
Durchschnitt	8,7	3,3	—	88,0	14,1
VII	5,8	7,6	—	86,6	
	6,6	6,2	—	87,2	
	8,3	5,6	—	86,1	
	8,6	3,8	—	87,6	
	9,1	2,9	—	88,0	
Durchschnitt	7,7	5,2	—	87,1	22,5

Durchschnittlicher Luftüberschuß ..... 13,5 %.

Auf Grund dieser in den Zahlentafeln niedergelegten Feststellungen erhält man für den Abhitzeofen die in Abb. 21 und Zahlentafel 21 wiedergegebene Wärmebilanz. Es zeigt sich ferner, daß die Ofenbatterie nur rd. 73,3 % der Wärmeenergie des erzeugten Destillationsgases zur Beheizung benötigt, während 26,7 % überschüssig sind und anderweitig verwendet werden können. Hierbei ist aber zu berücksichtigen, daß eine Benzolfabrik auf der Kokereianlage der Zeche fehlt. Bei deren Vorhandensein würde der Wärmeüberschuß natürlich geringer ausfallen. Rechnet man mit einem Benzolgehalt des Gases von 0,9 %, so ergeben sich bei einer Gesamtmenge von rd. 95 000 cbm Destillationsgas in 24 st rd. 28 Mill. WE weniger. Die Wärmeenergie des erzeugten Destillationsgases beträgt ungefähr 405 Mill., der Verbrauch zur Beheizung der Öfen 298 Mill. WE. Wäre also eine Benzolanlage in Betrieb, so würde der Wärmeüberschuß nur rd. 21 % betragen.

Zahlentafel 21.

Wärmebilanz des Abhitzeofens von Koppers.

Nr. des Versuches	Dauer des Versuches	Wärme-Einnahme: Zugeführte Wärmemenge durch Verbrennung des Heizgases von 0°/760 mm	das vorgewärmte Gas	die vorgewärmte Verbrennungsluft	insgesamt	Wärme-Ausgabe: Zur Wasserverdampfung aufgewandte Wärmemenge: eigentliche Wasserverdampfung	Überhitzung des Wasserdampfes	insgesamt	%
	st	WE	WE	WE	WE	WE	WE	WE	
I	6	66 960 000	242 874	736 300	67 939 174	21 170 781	—	21 170 781	31,2
II	24	258 190 000	1 006 700	2 641 795	261 838 495	82 385 600	—	82 385 600	31,5
III	24	280 190 000	965 450	2 920 367	284 075 817	89 785 815	10 521 925	100 307 740	35,3
IV	24	307 570 000	1 282 900	3 588 061	312 440 961	80 586 320	9 132 570	89 718 890	28,7
V	23	295 220 000	1 204 600	3 189 900	299 614 500	83 536 596	9 086 840	92 623 436	30,9
VI	24	319 550 000	1 217 000	3 544 509	324 311 509	91 431 399	7 911 331	99 342 730	30,6
VII	23	314 310 000	1 140 000	3 876 947	319 326 947	88 960 147	7 613 342	96 573 489	30,2

Nr. des Versuches	Dauer des Versuches	Wärme-Ausgabe: Durch das Destillationsgas mitgenommene Wärmemenge: reines Destillationsgas (ohne Wasserdampf)	Wasserdampf des Destillationsgases	insgesamt	%	Durch den Kokskuchen mitgenommene Wärmemenge	%	Durch den Kamin abziehende Wärmemenge: durch die Verbrennungserzeugnisse (theor.)	durch den Wasserdampf aus dem Heizgas	durch die überschüssige Luft	insgesamt	%	Strahlungsverlust (Restbetrag)	%
	st	WE	WE	WE		WE		WE	WE	WE	WE		WE	
I	6	1 706 879	1 201 936	2 908 815	4,3	25 652 000	37,8	7 016 800	107 213	784 860	7 908 873	11,6	10 298 705	15,1
II	24	6 867 344	5 187 853	12 055 197	4,6	101 675 600	38,8	27 623 000	484 066	1 442 000	29 549 066	11,3	36 173 032	13,8
III	24	7 880 464	5 799 823	13 680 287	4,8	102 028 000	35,9	30 467 000	399 543	2 044 800	32 911 343	11,6	35 148 447	12,4
IV	24	6 718 465	5 339 648	12 058 113	3,9	100 971 200	32,3	36 815 000	760 100	6 039 900	43 615 000	14,0	66 077 758	21,1
V	23	7 541 669	4 973 400	12 515 069	4,2	99 802 400	33,3	36 113 000	707 580	3 501 000	40 421 580	13,5	54 252 015	18,1
VI	24	8 134 609	6 092 296	14 226 905	4,4	101 793 200	31,4	40 071 000	681 777	4 781 100	45 533 877	14,0	63 414 797	19,6
VII	23	6 817 997	5 547 780	12 365 777	3,9	97 100 000	30,4	40 654 000	620 867	8 791 400	50 066 267	15,7	63 221 414	19,8

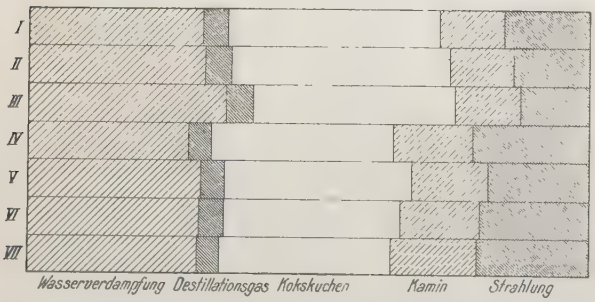

Abb. 21. Verteilung der Wärmemengen bei der Wärmebilanz des Abhitzeofens von Koppers.

Wärmebilanz des Regenerativofens von Koppers.

Die Wärmebilanz des Regenerativofens bezieht sich auf eine Kokereianlage, die aus 65 Regenerativöfen von Koppers besteht. Über die auf der Zeche zur Verkokung gelangende Kohle gibt Zahlentafel 22 Aufschluß. Das Ergebnis der Analysen des zur Beheizung verwendeten Gases zeigt Zahlentafel 23. Der Verbrauch der Batterie an Heizgas wurde mehrere Tage hindurch mit dem Gasometer gemessen (s. Zahlentafel 24).

Zahlentafel 22.

Beschaffenheit der trocknen Kokskohle.

Aschengehalt	%	5,79
Tiegelausbeute nach Muck	%	69,20
Ausbringen im Ofen		
an Koks	%	74,60
„ Teer	%	3,00
„ Sulfat insgesamt	%	1,42
davon flüchtig	%	1,27
„ gebunden	%	0,15
„ Gaswasser	%	6,34
„ H_2S	%	0,25
„ CO_2	%	1,36
Gasgehalt	%	14,42
Spezifisches Gewicht des Gases		0,32
Gasgehalt in 1 t Kohle		
ohne CO_2 und H_2S bei 0°/760 mm	cbm	327,4
mit „ „ „ „ 0°/760 „	cbm	336,0
ohne „ „ „ „ 15°/760 „	cbm	345,4
mit „ „ „ „ 15°/760 „	cbm	354,4
1 cbm Gas liefert	WE	4652
1 kg Kohle „	„	1563

Der durchschnittliche Verbrauch beziffert sich danach in 24 st auf 90 040 cbm mit einem untern Heizwert von 4301 WE für 1 cbm. Der Wassergehalt der Kohle beträgt 12,5%. In 24 st wurden 486 t nasse Kohle durchgesetzt, die 432 t trockener Kohle entsprechen.

Zahlentafel 23.

Ergebnisse der Koksofengasanalysen.

CO_2 %	Schwere Kohlenwasserstoffe %	O_2 %	CO %	H_2 %	CH_4 %	N_2 %	Unterer Heizwert, auf 1 cbm berechnet WE
3,2	2,9	0,4	5,4	51,7	29,4	7,0	4 413
3,0	2,8	0,2	6,8	49,2	29,6	8,4	4 295
3,0	2,0	0,6	4,8	53,4	28,0	8,2	4 194
2,6	2,3	0,3	6,9	48,4	31,0	8,5	4 426
2,6	3,2	0,4	4,6	50,2	26,7	12,3	4 162
2,7	2,0	0,3	5,3	52,9	28,0	8,8	4 195
3,5	2,5	0,7	5,1	51,2	29,1	7,9	4 311
3,1	2,7	0,5	4,9	48,5	30,1	10,3	4 349
2,5	3,0	0,4	5,0	48,8	29,7	10,6	4 367
Durchschnitt							
2,9	2,6	0,4	5,4	50,5	29,1	9,1	4 301

Zahlentafel 24.

Heizgasverbrauch der Batterie.

Nr. des Versuches	Dauer der Messung Tage	Gasverbrauch der Batterie bei t°/P mm cbm	in 24 st bei t°/P mm cbm	in 24 st bei 0°/760 mm cbm
I	6	599 800	99 967	91 044
II	11	1 143 600	103 964	94 460
III	3	285 100	95 033	85 346
IV	4	395 900	98 975	90 440
V	2	202 300	101 150	91 050
VI	5	489 900	97 980	87 776
VII	2	198 100	99 050	90 166
—	—	—	durchschnittl. in 24 st	90 040

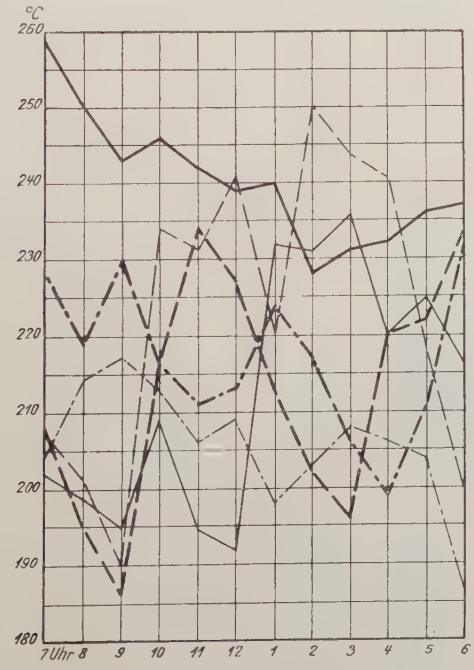

Abb. 22. Temperaturen in der Vorlage des Regenerativofens von Koppers.

Zahlentafel 25.

Menge des Luftbedarfs und der Verbrennungserzeugnisse des Heizgases.

Gasbestandteile Art	Menge cbm	Bedarf an Sauerstoff cbm	Bedarf an Verbrennungsluft cbm	Erzeugnisse der Verbrennung CO_2 cbm	H_2O cbm	N_2 cbm
CO_2	2,9	—	—	2,9	—	—
Schwere Kohlenwasserstoffe	2,6	7,8	37,14	5,2	5,2	29,34
O_2	0,4	—	—	—	—	—
CO	5,4	2,7	12,86	5,4	—	10,16
H_2	50,5	25,25	120,24	—	50,5	94,99
CH_4	29,1	58,2	277,14	29,1	58,2	218,94
N_2	9,1	—	—	—	—	9,1
zus.	100,0	93,95	447,38	42,6	113,9	362,53

Wie das Ergebnis der Kohlenuntersuchung zeigt, beträgt die Gesamtmenge des erzeugten Destillationsgases in 24 st 145 152 cbm bei 0° und 760 mm Druck, das mit 54 000 kg Wasserdampf gemischt ist. Die Temperatur in der Vorlage beträgt, wie aus Abb. 22 ersichtlich ist, im Durchschnitt 219°. Die theoretische Menge der Verbrennungserzeugnisse (s. Zahlentafel 25) beläuft sich auf 467 308 cbm mit einem Luftbedarf von 402 821 cbm. Die Abgase hatten durchschnittlich folgende Zusammensetzung:

	%
CO_2	7,5
O_2	5,0
N_2	87,5

Zahlentafel 26.

Wärmebilanz des Regenerativofens von Koppers.

Wärme-Einnahme	WE	%
durch Verbrennung des Heizgases von 0°/760 mm	387 262 040	
durch das vorgewärmte Gas	675 030	
„ die vorgewärmte Verbrennungsluft	4 772 704	
zugeführte Wärmemenge insgesamt	392 709 774	
Wärme-Ausgabe		
durch das reine Destillationsgas (ohne Wasserdampf) mitgenommene Wärmemenge	11 348 419	
durch den Wasserdampf des Destillationsgases mitgenommene Wärmemenge	6 125 868	
durch die Vorlage abziehende Wärmemenge insgesamt	17 474 287	4,4
durch den glühenden Kokskuchen verlorengehende Wärmemenge	128 908 800	32,8
zur Erhitzung der Verbrennungsluft aufgewandte Wärmemenge	156 466 691	39,9
durch die Verbrennungserzeugnisse (theor.) verlorengehende Wärmemenge	41 953 043	
durch den Wasserdampf aus dem Heizgas mitgenommene Wärmemenge	209 396	
durch die überschüssige Luft mitgenommene Wärmemenge	8 704 456	
Kaminverlust insgesamt	50 866 895	13,0
Strahlungsverlust (Restbetrag)	38 993 100	9,9

Daraus berechnet sich die insgesamt zugeführte Luftmenge auf 513 194 cbm; demnach bleibt ein Luftüberschuß von 110 373 cbm. Ferner kommt noch der im Heizgas enthaltene Wasserdampf zu dem Abgas hinzu, der bei einer Temperatur von 21° 1630 kg ausmacht. Die Temperatur des Rauchgases stellt sich bei gewöhnlichen Betriebsverhältnissen auf 248°. An Koks wurden bei einem durchschnittlichen Ausbringen

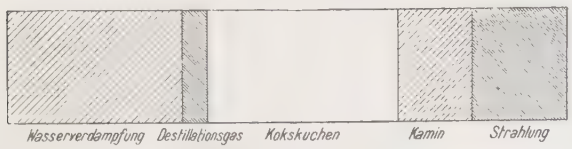

Abb. 23. Wärmeverteilung in der Wärmebilanz des Abhitzeofens von Koppers.

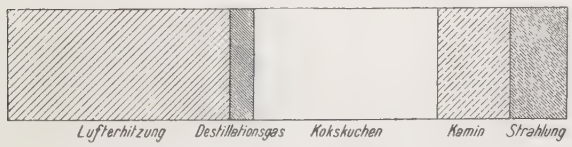

Abb. 24. Wärmeverteilung in der Wärmebilanz des Regenerativofens von Koppers.

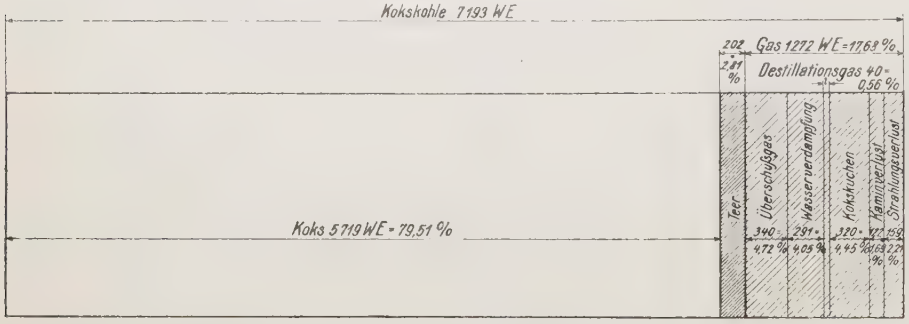

Abb. 25. Verteilung der Wärmemengen im Kokereibetrieb beim Abhitzeofen von Koppers.

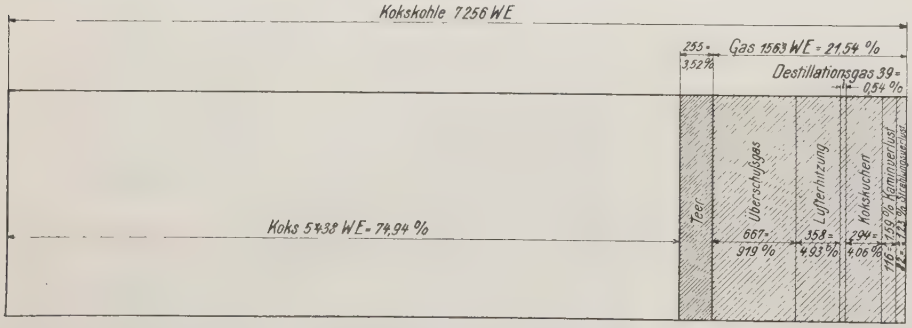

Abb. 26. Verteilung der Wärmemengen im Kokereibetrieb beim Regenerativofen von Koppers.

von 74,6% in 24 st 322 200 kg erhalten. In den Regeneratoren wurden also 513 194 cbm Luft, u. zw. von etwa 30 auf 950° vorgewärmt. Auf Grund dieser Feststellungen ergibt sich für den Regenerativofen von Koppers eine Wärmebilanz, wie sie Zahlentafel 26 und Abb. 24 vor Augen führen. Der Wärmeüberschuß beträgt in diesem Falle 42,7%. Die Abb. 25 und 26 zeigen die Verteilung der Wärmemengen im Kokereibetrieb beim Abhitze- und Regenerativofen von Koppers.

Vergleich der beiden Wärmebilanzen.

Stellt man diese beiden Wärmebilanzen einander gegenüber (vgl. die Abb. 23 und 24), so fällt vor allem ins Auge, daß die Strahlungsverluste beim Regenerativofen viel geringer sind als beim Abhitzeofen (9,9 gegenüber 17,1%). Dieser Umstand hängt natürlich nicht mit der Verschiedenheit der Kohle zusammen, sondern erklärt sich daraus, daß die Regeneratoren unmittelbar unter den Öfen angeordnet sind. Die Abhitzegase der Regenerativöfen finden eben sofort nach dem Verlassen der Heizzüge Gelegenheit, ihre Wärme in den Regeneratoren abzugeben, während die der Abhitzeöfen erst eine gewisse Strecke Weges bis zu den Kesseln zurücklegen müssen, auf dem ihnen natürlich Wärme verloren geht. Wie festgestellt wurde, beträgt dieser Temperaturabfall für 1 m Entfernung etwa 1–2°. Daraus ergibt sich, daß man bei Abhitzeöfen die Dampfkesselanlage möglichst nahe an die Ofenbatterie legen soll.

Betrachtet man die Wärmebilanz des Koksofens im allgemeinen, so erkennt man, daß sie nicht gerade sehr günstig ist. Abgesehen von den Wärmeverlusten durch die Ofenstrahlung und die Feuerungsgase, die man bei allen Öfen vorfindet, geht rd. ein Drittel der ausgegebenen Wärmeenergie durch den glühend ausgestoßenen und dann abgelöschten Koks verloren. Ein Teil der mit den Destillationsgasen verlorengehenden Wärme wird dadurch wiedergewonnen, daß man das von den Röhrenwasserkühlern ablaufende Wasser zur Kesselspeisung benutzt. Dieses Wasser tritt mit etwa 20° in die Kühler ein und erfährt dort eine Vorwärmung. Es gelangt nach Zahlentafel 15 mit 37°, also mit einer Temperaturerhöhung um 17° in die Kessel, was bei einer stündlichen Wasserverdampfung von 6102 kg täglich einen Wärmegewinn von 2 489 000 WE = 19,2% der durch die Destillationsgase abgeführten Wärmemenge ausmacht. Man hat verschiedentlich versucht, auch die durch den Kokskuchen verlorengehende Wärme wiederzugewinnen. So wurde vorgeschlagen, wenigstens die Gase, die sich während des Entleerens und Beschickens bilden, bei abgeschalteter Absaugleitung durch eine besondere Leitung zur Weiterverwendung abzuführen. Ferner suchte man dadurch eine bessere Wärmewirtschaft zu erzielen, daß man

das Heizgas während der letzten Stunden der Garung abstellte, bevor noch die Verkokung im Innern vollendet war. Durch die Wandbeheizung wird dann nur der äußere Teil des Kohlenkuchens verkokt. Man begründet diese Maßnahme damit, daß die Abgabe von Wärme aus den Heizwänden an die Kohle im Innern der Ofenkammer desto geringer wird, je mehr die Verkokung ihrem Ende entgegengeht, ferner, daß der den Heizwänden zunächst liegende fertige Koksmantel sowie die Ofengase immer heißer werden und in dem Maße, in dem die Verkokung nach dem Innern des Kohlenkuchens zu fortschreitet, gar keiner Heizung durch die Wand mehr bedürfen. Auf den ersten Blick ist zu erkennen, daß dies mit einkammerigen Zwischenwänden, die man heute bei den meisten neuzeitlichen Öfen findet, nicht durchführbar ist, da ja eine Heizwand zwei Ofenkammern zu heizen hat und im allgemeinen ein Zeitraum von 5 st zwischen dem Besetzen der beiden anliegenden Kammern liegen muß. Auch bei doppelten Heizwänden läßt sich der Vorschlag schwer durchführen, da in der Heizwand ein bedeutender Temperaturrückgang stattfinden wird. Denn die spezifische Wärme des Koks ist viel größer als die des feuerfesten Baustoffes. Je größer sie aber ist, desto langsamer erfolgt die Wärmeabgabe. Zunächst wird sich also die Trennungswand zwischen Ofen- und Heizkammer abkühlen und darauf die Abkühlung von den Rändern des Kokskuchens langsam weiter nach innen vorschreiten. In dieser Hinsicht wurde eine Reihe von Versuchen an Öfen mit einkammerigen Zwischenwänden ausgeführt. Zahlentafel 27 zeigt die Ergebnisse eines Versuches, bei dem rd. 2 st vor dem Drücken des Kokskuchens das Gas abgestellt wurde. Der Kokskuchen war vollständig gar und zeigte keinen Unterschied von dem auf derselben Batterie in der gewöhnlichen Weise gestoßenen Koks. Die Temperatur ging in den anliegenden Heizwänden um 70 bzw. 80° zurück. Auch bei einem Versuch, dessen Ergebnisse Zahlentafel 28 zeigt, war der Koks vollständig gar, trotzdem schon etwa 4 st vor dem Drücken mit der Wandbeheizung aufgehört worden war. Jedoch konnte bei dem Drücken der Nachbaröfen an der Lage der Koksnaht schon deutlich erkannt werden, daß eine geringere Wärmezufuhr von der abgestellten Heizwand aus erfolgt war. Der Temperaturrückgang in den Heizwänden betrug rd. 160 bzw. 190°. Bedenkt man, daß unmittelbar nach dem Drücken des glühend heißen Koks ein nasser, kalter Kohlenkuchen an dessen Stelle tritt, so daß also zu der schon vorhandenen Abkühlung noch eine neue

Zahlentafel 27.

Temperaturabnahme in den Heizwänden beim Abstellen des Gases.

Nr. des Ofens	Zeit seit der Füllung bei Beginn der Messung st
69[1]	29
68	17
70	12

Temperaturen, gemessen am Schauloch der Koksseite.

Heizwand 68/69		Heizwand 69/70	
Zeit	°C	Zeit	°C
4^{30}	980	4^{20}	930
4^{50}	960	4^{40}	920
5^{10}	940	5^{00}	910
5^{30}	920	5^{20}	890
5^{50}	910	5^{40}	880
6^{10}	900	6^{00}	870
		6^{20}	860
Abnahme: 80°		Abnahme: 70°	

1 Der Ofen 69 wurde 6 Uhr 25 gedrückt.

Zahlentafel 28.

Temperaturabnahme beim Abstellen des Gases.

Nr. des Ofens	Zeit der Füllung
87[1]	9. X. 11^{00} vorm.
86	9. X. 10^{50} nachm.
88	10. X. 4^{00} vorm.

Temperaturen vor dem Abstellen des Gases. (Dauer der Messungen ½ st)

Heizwand 86/87	°C
Koksseite	1010
Maschinenseite	1060
Heizwand 87/88	**°C**
Koksseite	1030
Maschinenseite	1010
Kokskuchen, gemessen durch das mittlere Fülloch	1050

Temperaturen nach dem Abstellen des Gases, gemessen am Schauloch der Koksseite.

Heizwand 86/87		Heizwand 87/88	
Zeit	°C	Zeit	°C
2^{10}	1000	2^{00}	1030
2^{30}	990	2^{20}	1000
2^{50}	980	2^{40}	980
3^{10}	960	3^{00}	900
3^{30}	940	3^{20}	960
3^{50}	920	3^{40}	870
4^{10}	910	4^{00}	870
4^{30}	910	4^{20}	860
4^{50}	900	4^{40}	850
5^{10}	890	5^{00}	840
5^{30}	870	5^{20}	840
5^{50}	870	5^{40}	830

gemessen am Schauloch der Maschinenseite.

Heizwand	Zeit	°C
86/87	5^{59}	870
87/88	5^{53}	820
Kokskuchen, gemessen durch das mittlere Fülloch		980

1 Der Ofen 87 wurde am 10. X. nachm. 6 Uhr 10 gedrückt.

hinzukommt, so wird man einsehen, daß es unmöglich ist, auf diese Weise eine günstigere Wärmewirtschaft des Koksofens zu erzielen. Abgesehen davon, daß sich die Betriebsverhältnisse viel verwickelter gestalten würden, müßte eine Verlängerung der Garungszeit die Folge dieser Maßnahme sein; die Leistungsfähigkeit des Ofens würde also auf Kosten eines geringen Wärmegewinnes vermindert werden. Bemerkt sei noch, daß man auch versucht hat, während dieser Abstellzeit des Heizgases Wasserdampf von der Ofenkammersohle aus einzublasen, was eine Erhöhung der Ausbeute an Ammoniak im Gefolge haben sollte. Dadurch tritt natürlich gleichfalls eine Abnahme der Temperatur ein, die man aber dann eben auf Kosten des höhern Ausbringens an Nebenprodukten in den Kauf nimmt.

Als ein großer Übelstand bei der Beheizung ist es ferner zu bezeichnen, daß die Wärmeübertragung an den Kohlenkuchen durch das Mittel der Heizwand erfolgen muß. Vergegenwärtigt man sich weiter, daß in den letzten Stunden der Garungszeit der Koks gar nicht mehr an den Wandungen anliegt, also die Wärme zur Verkokung der in der Mitte der Ofenkammer noch unzersetzten Kohle erst durch Leitung durch die Heizwand, dann durch Strahlung, darauf wieder durch Leitung durch den schon gebildeten porösen Koks übertragen werden muß, so sieht man deutlich, wie groß die Vergeudung an Wärme ist. Man muß deshalb bestrebt sein, die Trennungswand zwischen Ofen- und Heizkammer möglichst dünn auszuführen, soweit es eben die Standfestigkeit des Ofens zuläßt. Auch muß man feuerfeste Steine von bester Wärmeleitfähigkeit verwenden. Man benutzte bisher zum Koksofenbau Schamottesteine. Es hat sich aber herausgestellt, daß Dinassteine eine bessere Wärmeleitfähigkeit besitzen. Diese werden jedoch wiederum durch den Alkaligehalt des Kohlenwaschwassers mehr angegriffen. Man versucht deshalb gegenwärtig, die Trennungswand so auszuführen, daß man die Wandung, die mit den Feuergasen in Berührung kommt, aus Dinassteinen und die mit der Kohle in Berührung kommende aus Schamottesteinen herstellt. Je dichter überdies der Stein ist, desto größer ist seine Leitfähigkeit und seine Widerstandsfähigkeit gegen Alkalien.

Schließlich sei noch das Verfahren der sog. »Innenheizung« erwähnt, durch das man die sonst durch den Kokskuchen verlorengehende Wärme wiedergewinnen will. Das Verfahren beruht darauf, daß die Destillationsgase der einen Ofenkammer durch die gare, noch glühende Koksmasse einer zweiten Kammer hindurchgeleitet und dann wieder in die in Destillation befindliche Kohle der ersten Kammer zurückgeführt werden. Nach Beendigung der Verkokung in der ersten Kammer und Entleerung der zweiten Kammer wird diese durch Verbrennen einer kleinen Menge Koks der noch gefüllten ersten Kammer vorgewärmt. Abgesehen davon, daß die praktische Ausführung dieses Verfahrens auf Schwierigkeiten stoßen dürfte, tritt klar zutage, daß man dabei auf Kosten eines geringen Wärmegewinnes die wertvollen Nebenprodukte so gut wie preisgibt.

Zusammenfassung.

Die Wärmetechnik des Abhitze- und des Regenerativofens von Koppers wird an Hand von Betriebsuntersuchungen besprochen und die Wärmebilanz für diese beiden Ofenarten aufgestellt.

Diese Arbeit führte ich auf Anregung von Herrn Professor O. Simmersbach aus, dem ich für seine Unterstützung und das mir bewiesene Wohlwollen meinen verbindlichsten Dank ausspreche.

Ferner fühle ich mich verpflichtet, den Herren Bergwerksdirektor Bergassessor Funcke und Direktor Dr. Hinniger, die mir die Ausführung der nötigen Betriebsversuche auf den ihnen unterstellten Anlagen bereitwilligst gestatteten, sowie Herrn Betriebsführer aus der Mark, der meiner Arbeit stets das größte Interesse entgegenbrachte, bestens zu danken.

Lebenslauf des Verfassers.

Ich, Alfons Wilczek, bin geboren am 3. Mai 1886 als Sohn des Gutsbesitzers Fr. Wilczek zu Koenigsdorf (Schlesien). Ich besuchte zunächst die Volksschule meines Heimatsortes und darauf das Gymnasium in Leobschütz, das ich Ostern 1906 verließ, um in der Bismarckhütte O.-S. praktisch zu arbeiten. Oktober 1907 bezog ich die Königliche Technische Hochschule zu Berlin, um Eisenhüttenkunde zu studieren. Ostern 1911 siedelte ich von da nach Breslau über und bestand im Mai 1912 an der dortigen Hochschule die Diplomhauptprüfung. Darauf führte ich vorliegende Arbeit aus und promovierte am 26. Juli 1913 zum Dr.-Ing.